ประสิทธิภาพการผสมไอโอดีนในเกลือบริโภคด้วยเครื่องผสมต้นแบบแบบริบบอนคู่ด้วยการหยด

EFFICIENCY OF MIXING IODINE IN TABLE SALT BY DOUBLE RIBBON MIXER PROTOTYPE USING DRIPPING FEEDER

ณัชนลิน เจริญจิตร์

NATNALIN JARERNJIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาสุขาภิบาลอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2556

KMITL-2013-AIM-054-192

EFFICIENCY OF MIXING IODINE IN TABLE SALT BY DOUBLE RIBBON MIXER PROTOTYPE USING DRIPPING FEEDER

NATNALIN JARERNJIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

KMITL-2013-AIM-054-192

COPYRIGHT 2013

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพการผสมไอโอดีนในเกลือบริโภคด้วยเครื่องผสมต้นแบบริบบอนคู่ด้วยการหยด

EFFICIENCY OF MIXING IODINE IN TABLE SALT BY DOUBLE RIBBON MIXER PROTOTYPE USING DRIPPING FEEDER

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัชนลิน เจริญจิตร์

รหัสประจำตัว 51608063

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ประมวล ศรีกาหลง

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.ประมวล ศรีกาหลง	
รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์	
ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ	
รศ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 22 ตุลาคม 2556 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 29 เดือน ต.ค. พ.ศ. 2556

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพการผสมไอโอดีนในเกลือบริโภคด้วยเครื่องผสมต้นแบบแบบริบบอนคู่ด้วยการหยด
นักศึกษา นางสาวณัชนลิน เจริญจิตร์
รหัสนักศึกษา 51608063
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ. 2556
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร. ประมวล ศรีกาหลง

บทคัดย่อ

การศึกษาการกระจายตัวในการผสม ไอโอดีนในเกลือบริโภคด้วย ของเครื่องผสมชนิดริบบอนคู่ต้นแบบ โดยการเติมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงไปในเกลือป่นด้วยวิธีการหยดและวิเคราะห์การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือป่น โดยกำหนดปัจจัยในการศึกษาคือ อุณหภูมิ (50,60และ 70 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม (25, 35 และ 45 เฮิร์ตซ์) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม (4, 8, 12 และ16 นาที) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเกลือในตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 ตำแหน่งของถังผสมผลการทดลองพบว่า ทุกๆ สภาวะในการผสมมีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภค โดยระยะเวลาและอุณหภูมิในการผสมทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภคดีขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารละลายไอโอดีนและเกลือบริโภค คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 25 เฮิร์ตซ์เป็นระยะเวลา12 นาที

การศึกษาความคงตัวของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา โดยวิเคราะห์ปริมาณไอดีนในเกลือ โดยกำหนดปัจจัยในการเก็บรักษาเป็นอุณหภูมิ3 ระดับ (50,60และ 70 องศาเซลเซียส) โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง,การเปิด-ปิดถุงเก็บ และระยะเวลาในการเก็บรักษาทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 6 เดือนพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบเปิดถุงและปิดถุงมีค่าความชันในแต่ละอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยแบบเปิดถุง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนสูงกว่าแบบปิดถุง

การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน โดยวัดจากปริมาณไอโอดีนที่ลดลงที่อุณหภูมิเร่งระดับต่างๆ (อุณหภูมิห้อง , 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียส) พบว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่า สัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ r^2มากที่สุดเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับสอง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสค่า r^2 ที่ปฏิกริยาอันดับหนึ่ง มีค่าใกล้เคียงกับปฏิกริยาอันดับศูนย์ และตามประกาศ

กระทรวงสาธารณสุขกำหนดปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคให้มีค่าไม่น้อยกว่า 20 พีพีเอ็ม ดังนั้น จึงสามารถหาอายุการเก็บที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สภาวะการเก็บเกลือแบบเปิดพบว่าที่อุณหภูมิเร่ง 50 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 19 สัปดาห์, ที่อุณหภูมิเร่ง 60 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 17 สัปดาห์, ที่อุณหภูมิเร่ง 70 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 9 สัปดาห์ ซึ่งเปรียบเทียบได้กับเกลือป่นเสริมไอโอดีนในปัจจุบันมีอายุการเก็บ 5 ปี ที่อุณหภูมิห้อง

Thesis Efficiency of mixing iodine in table salt by double ribbon mixer prototype using dripping feeder

Student Miss Natnalin Jarernjit

Student ID. 51608063

Degree Master of Science

Program Food Sanitation

Year 2013

Thesis Advisor Dr. Pramual Srigalong

ABSTRACT

The mixing distribution of iodine in table salt by doubleribbon mixer prototype was evaluated. The potassium iodate solution was added into table salt using dripping feeder and the iodine distribution in salt were determined. The factors in this study was mixing temperature (50, 60 and 70°C), mixing speed (25, 35 and 45 hertz) and mixing time (4, 8,12 and 16 minutes).The samples were taken at 5 positions of mixing tank. The results indicated that all factors affected the distribution of iodine in table salt. As mixing time and mixing temperature increased, the distribution of iodine in table salt was increased. Therefore, the optimum condition in this work was mixing temperature and 60°Cmixing speed of 25 hertz and mixingtimeof 12 minutes.

The stability of the iodized salt during storage was evaluated.The iodine content remaining in salt was determined. The factors in this study were storage temperature (50, 60 and 70°C) compared with room temperature, the sealed plastic bag and opened plastic bag condition and storage time (6 months). The samples were taken for determine every 2 weeks during storage.The results indicated that all the sealed plastic bag and opened plastic affected to the remaining content of iodine in salt was changed refer to the different slopes in each storage temperature. The condition stored with the opened plastic bag were more likely to change than iodine in the sealed plastic bag.

The reaction rate of the iodine content decreasing in iodized salt was determined in the storage temperature (Room temperature, 50, 60 and 70 °C). The storage at 60 and 70 °C shown the most r^2(R-Squared)align with the first ratereaction. Except at 50 ° C, the both r^2 of the first rate reaction was similar to the zero rate reaction.According to the notification from Ministry of public

health of iodine in salt consumption which is not less than 20 ppm,then can be identified the shelf life at accelerated temperature conditions with opened seal plastic bag for calculated time. At storage temperature 50 °C should be kept within 19 weeks, 60 °C should be kept within 17 weeks and 70°C should be kept within 9 weeks equally to storage iodized salt five years (actual shelf life in market) at room temperature.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.ประมวล ศรีกาหลง อาจารย์ผู้ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผศ. ดร. วริพัสย์ อารีกุล ที่กรุณาให้ความรู้ แนวคิด คำปรึกษา และข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ รวมถึงตรวจแก้ไขรูปเล่ม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบรูณ์ อีกทั้งยังให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในการให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการการจัดทำวิทยานิพนธ์ รวมถึง รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์ , ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ และ รศ.ดร.ประภาพร ขอไพบูลย์ ที่ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความร่วมมือตลอดการศึกษาครั้งนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้โอกาสและกำลังใจที่ดีเสมอมา ประโยชน์อันใดที่ได้จากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ณัชนลิน เจริญจิตร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 บทนำ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 เกลือหรือโซเดียมคลอไรด์ 3
2.2 ไอโอดีน 6
2.3 กระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีน 12
2.4 อายุการเก็บรักษา 18
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน 30
3.1 อุปกรณ์ 30
3.1.1 วัตถุดิบ 30
3.1.2 สารเคมี 30
3.1.3 เครื่องมือ 30
3.1.4 สถานที่ดำเนินงาน 31
3.2 วิธีการดำเนินงาน 31
3.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน
แบบริบบอนคู่ด้วยการหยด (ต้นแบบ) 31
3.2.2 ศึกษาผลของอายุและสภาวะการเก็บที่มีผลต่อคุณภาพ
ความเข้มข้นของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน 33
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภค 34
4.2 ผลการศึกษาความคงตัวของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา.....36
4.3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Kinetics of Reaction) ของการเปลี่ยนแปลง
ปริมาณไอโอดีน.....39
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 45
5.1 สรุปผลการทดลอง 45
5.2 ข้อเสนอแนะ 46
บรรณานุกรม 47
ภาคผนวก 49
ภาคผนวก ก ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บ.....0.....5
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ.....52
ภาคผนวก ค กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน.....64
ภาคผนวก ง ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งและเวลาต่างๆในการผสม
ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์.....66
ประวัติผู้เขียน 68

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงปริมาณไอโอดีนในเกลือของประเทศต่างๆ 4
2.2 Spraying equipment of potassium iodate 11
4.1 ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง5 ตำแหน่งและเวลาต่างๆในการผสม
ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 rpm.....34
4.2 สภาวะการผสมแสดงอุณหภูมิ ความเร็วรอบ และเวลาที่ใช้ในการผสมที่มีปริมาณ
ไอโอดีนในเกลือใกล้เคียงกับปริมาณไอโอดีนเฉลี่ย 36
ภาคผนวก ก1 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บ
รักษาที่อุณหภูมิต่างๆ.....51
ภาคผนวก ข1 ตารางแสดงความแม่นยำของการวัดโดยใช้ I-Reagent.....57
ภาคผนวก ข2 ความสัมพันธ์ของสีและการดูดกลืนแสง.....63
ภาคผนวก ง1 ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งและเวลาต่างๆในการผสม
ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์ 67

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 ที่ตั้งของต่อมไทรอยด์ และการแบ่งเป็นกลีบ 7
2.2 ฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมไทรอยด์ 7
2.3 อัตราคอพอกของประเทศไทย 15
2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษาเมื่ออันดับของ
ปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์ 23
2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษาเมื่ออันดับของ
ปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง 25
2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษาเมื่ออันดับของ
ปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์ และ หนึ่ง ตามลำดับ 26
3.1 เครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ 31
3.2 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างของเครื่องผสมจำนวน 5 ตำแหน่ง 32
4.1 ผลของปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุง
ภายในระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน 37
4.2 ผลของปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ แบบปิดถุง
ภายในระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน 38
4.3 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บที่สภาวะ
อุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุงเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์ 39
4.4 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บที่สภาวะ
อุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุงเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง 40
4.5 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บที่สภาวะ
อุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุงเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับสอง 40
4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ
50 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง 41
4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ
60 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง 42
4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ
70 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง 42

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาคผนวก ข1 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีจากโมเลกุลของไอโอดีนแทรกเข้าไปในสารละลายแป้ง...56
ภาคผนวก ข2 ตัวอย่างสารละลายสีน้ำเงินจากการตรวจสอบปริมาณไอโอดีน.....56
ภาคผนวก ข3 กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างวิธีวัดสีและวิธีไตเตรชั่น.....57
ภาคผนวก ข4 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้น้ำยาไอรีเอเจนต์.....58
ภาคผนวก ข5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....62
ภาคผนวก ข6 ระดับพลังงานเมื่ออิเลคตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงาน
คลื่นแสงในช่วง UV-Visible.....62
ภาคผนวก ข7 การทำ calibration curve เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของสาร.....63
ภาคผนวก ค1 กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงที่ 500
นาโนเมตร (แกน y) และปริมาณไอโอดีน (แกน x).....65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 บทนำ

ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ถ้าได้รับไอโอดีนไม่เพียงพอ มีผลทำให้ต่อมธัยรอยด์ทำงานมากขึ้นและมีขนาดใหญ่เรียกว่า โรคคอพอก หรือเกิดภาวะธัยรอยด์ฮอร์โมนต่ำ อัตราการเผาผลาญอาหารลดลง ร่างกายหยุดชะงักหรือเติบโตช้า สำหรับหญิงมีครรภ์ ถ้าขาดสารไอโอดีนจะมีผลต่อทารกในครรภ์ทำให้แท้งหรือคลอดแล้วทารกพิการ หูหนวก เป็นใบ้ ปัญญาอ่อนหรือเป็นโรคเอ๋อ (แสงโสม, 2544) ความต้องการไอโอดีนขึ้นอยู่กับช่วงอายุและสภาพร่างกาย โดยประมาณแล้วในผู้ใหญ่ต้องการประมาณ 150 ไมโครกรัมต่อวัน(คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย, 2546) อาหารที่มีสารไอโอดีนค่อนข้างสูงมักเป็นอาหารทะเล แต่อาหารทะเลไม่ใช่ทางเลือกที่ดีสำหรับประชาชนที่มีรายได้น้อยและอยู่ในถิ่นทุรกันดารภาวการณ์ขาดไอโอดีนจึงยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญปัญหาหนึ่ง สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขจึงได้รณรงค์การผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนและรณรงค์การบริโภคเกลือดังกล่าว อีกทั้ง สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กำหนดให้เกลือบริโภคเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 153 (พ.ศ.2553) และ ได้ออกประกาศแก้ไขปรับปรุง เรื่องเกลือบริโภคลงวันที่ 16 มีนาคม 2554 โดยกำหนดปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภค เป็นไม่น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม และไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค 1 กิโลกรัม (40 พีพีเอ็ม, ppm)

แม้มีกฎหมายกำหนดให้เกลือต้องเสริมไอโอดีน แต่ยังมีรายงานการพบโรคขาดสารไอโอดีนในคนไทยและเด็กไทย ทั้งนี้เนื่องจากประชาชนเห็นความสำคัญของการบริโภคเกลือเสริมไอโอดีนค่อนข้างน้อย เกลือที่ติดฉลากว่า “เสริมไอโอดีน” ซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดมากมายหลากหลายยี่ห้อ บางยี่ห้อบรรจุในซองแพ็คเกจที่สวยงามน่าเชื่อถือ แต่ส่วนใหญ่ไม่มีไอโอดีนตามมาตรฐานที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดและพบว่าทั้งเกลือที่มีปริมาณไอโอดีนน้อยเกินไป บางยี่ห้อไม่มีไอโอดีนเลย และบางครั้งเกลือยี่ห้อเดียวกัน ในแต่ละถุงยังมีปริมาณไอโอดีนไม่เท่ากันด้วย (นิพัทธาและวริพัสย์, 2553) ทั้งนี้ผู้ผลิตหลายรายอาจไม่มีเจตนาจะหลีกเลี่ยงการเติมไอโอดีนลงในเกลือ แต่ด้วยกระบวนการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ การขาดความรู้ความเข้าใจในกระบวนการผลิตให้ได้คุณภาพตามที่กฎหมายระบุของผู้ผลิตจึงนับเป็นปัญหาและอุปสรรคที่ต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ดังนั้นเพื่อให้การผลิตเกลือเสริมไอโอดีนมีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือ ในการผสมเกลือด้วยเครื่องผสมชนิดริบบอนคู่ต้นแบบที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางใน

การนำไปพัฒนากระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนให้มีคุณภาพตามมาตรฐานตั้งแต่ต้นทาง และส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชนให้ได้บริโภคเกลือที่มีคุณภาพอย่างเพียงพอต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนต้นแบบ ชนิดริบบอนด้วยวิธีการหยดในสภาวะการผลิตต่าง ๆ

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภค

1.3ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยวิธีการหยด เครื่องต้นแบบที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้จัดทำขึ้น ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการผสมไอโอดีนลงในเกลือที่อุณหภูมิการผสม 3 ระดับ ความเร็วรอบในการผสม 3 ระดับ และระยะเวลาที่ใช้ในการผสม 4 ช่วงเวลา รวม 30 นาที โดยศึกษาการกระจายตัวของสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตในเกลือที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องผสมจำนวน 5 ตำแหน่ง อีกทั้งยังศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนระหว่างการเก็บโดยศึกษาผลของอุณหภูมิ3 ระดับโดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง การเปิด -ปิดถุงเก็บ และช่วงเวลาการเก็บเป็นระยะเวลา 6 เดือน ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไอโอดีนในระหว่างการเก็บเกลือเสริมไอโอดีน

1.4ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องผสมแบบริบบอนคู่ด้วยวิธีการหยด (ต้นแบบ)ในการผสมไอโอดีนให้กระจายตัวในเกลือบริโภคในสภาวะต่างๆ

1.4.2 สามารถนำปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภคไปเป็นแนวทางให้แก่ผู้ผลิตและผู้บริโภคใช้ในการเก็บรักษาเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนให้คงคุณภาพดี

1.4.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาอายุการเก็บเพื่อตรวจวัดคุณภาพของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนในสภาวะการเก็บที่อุณหภูมิเร่งต่างๆได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เกลือหรือโซเดียมคลอไรด์

2.1.1 ความหมายของเกลือ

ในความหมายของคนทั่วๆไปนั้น เกลือ คือ วัตถุผลึกสีขาวที่ใช้สำหรับปรุงแต่งรสชาติอาหารเพื่อให้มีรสเค็ม หรือใช้ปรุงอาหารมีชื่อทางเคมีว่า โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) มีสูตร NaCl ที่เกิดจากโซเดียม (Na) ร้อยละ 39.39 และคลอไรด์ (Cl) ร้อยละ 60.61 มีรูปร่างเป็นผลึกรูปลูกบาศก์สีขาว (NaCl) เกลือที่ในเกลือที่ไม่มีความชื้นอยู่เลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 95.5 - 98.5 และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และ ซัลเฟต (SO_4) เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายทั้งในการปรุงอาหารและถนอมอาหาร ในอดีตมีการใช้เกลือในด้านอื่นด้วย เช่น รักษาแผลและผสมปรุงยา เกลือจึงเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิต หลายประเทศเคยมีการเก็บส่วยเกลือ สำหรับในด้านการแพทย์ เกลือแยกออกเป็นโซเดียมกับคลอไรด์ โซเดียมเป็นอิเลคโตรไลท์ที่สำคัญในการควบคุมความเข้มข้นของของเหลวภายนอกเซลล์และการกระจายของน้ำในร่างกายให้เกิดความสมดุล และมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ ควบคุมการเต้นของหัวใจและชีพจร การส่งสัญญาณของระบบประสาทควบคุมสมดุลของกรดและด่างในเลือด สำหรับคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญของกรดเกลือที่ใช้ย่อยอาหาร (นันทยา และคณะ, 2554)

2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของเกลือ (พีชรัช , 2553)

2.1.2.1 ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 26.4 โดยน้ำหนัก เมื่อละลายน้ำจะมีรสขมเล็กน้อยมีปฏิกิริยาเป็นกลาง

2.1.2.2 ดูดความชื้นได้ประมาณร้อยละ 1.5 ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นหน้าที่หลักในการถนอมอาหารของเกลือ คือเกลือจะทำให้ค่า Water Activity ของอาหารลดลง เมื่อเกลือละลายในน้ำ โมเลกุลของน้ำจะมาเกาะจับเกลือเกิดเป็นไอออนไฮเดรชัน (ion hydration) มีผลทำให้ความเป็นอิสระของน้ำเปลี่ยนไป

2.1.2.3 มีจุดหลอมเหลวที่ 77.7 องศาเซลเซียส

2.1.2.4 สถานะปกติเป็นของแข็ง ไม่นำไฟฟ้า แต่หากละลายน้ำจะทำให้น้ำเป็นสารละลาย (อิเล็กโทรไลต์) เพราะเกลือแตกตัวเป็นไอออน ทำให้น้ำนั้นนำไฟฟ้าได้

2.1.2.5 สารละลายเกลืออาจเป็นกรด กลาง หรือเบส ก็ได้

1. เกลือที่มีคุณสมบัติเป็นกรด เกิดจากกรดแก่และเบสอ่อน
2. เกลือที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง เกิดจากกรดแก่และเบสแก่
3. เกลือที่มีคุณสมบัติเป็นเบส เกิดจากกรดอ่อนและเบสแก่

2.1.3 การผลิตเกลือในปัจจุบัน (วิชัย, 2532)

เกลือเป็นแร่ธาตุทางโภชนาการชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถสกัดได้จากสัตว์และพืช แต่เกลือจากพืชบางครั้งอาจเป็นพิษ มนุษย์เราจึงได้ผลิตเกลือเพื่อการบริโภคโดยใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ นั่นคือ น้ำทะเลและดินเค็ม ซึ่งสามารถจัดประเภทเกลือแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท

2.1.3.1 เกลือสมุทร (Sea salt) คือ เกลือที่ได้จากสูบน้ำทะเลเข้ามาขังไว้ในที่นา ผึ่งแดดและลมจนน้ำระเหยเหลือแต่ผลึกเกลือสีขาว เกลือสีขาวน้ำทะเลที่มีความเค็ม ร้อยละ 3.5 (% salinity) จะประกอบด้วยไอโอดีนประมาณ 0.064 พีพีเอ็ม

2.1.3.2 เกลือสินเธาว์ หรือ เกลือหิน (Rock salt) คือ เกลือที่ได้จากดินเค็ม โดยการปล่อยน้ำลงไปละลายหินเกลือที่อยู่ใต้ดินแล้วจึงสูบน้ำกลับขึ้นมาตากหรือต้มให้น้ำระเหยไป พบตามจังหวัดในภาพตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ผลิตได้ด้วยการต้มหรือตากแดดน้ำเกลือ

2.1.4 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับเกลือไอโอดีน

คุณภาพมาตรฐานของปริมาณไอโอดีนในเกลือของประเทศต่างๆมีการเติมไอโอดีนในเกลือในปริมาณที่ แตกต่างกันดังตัวอย่างต่อไปนี้ (นันทยา และคณะ, 2554)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณไอโอดีนในเกลือของประเทศต่างๆ

ประเทศ	ปริมาณไอโอดีนในเกลือ (ppm)
1. อิรัก	20-80
2. บัลกาเรีย	28-55
3. มาซิโดเนีย	20-30
4. สวิสเซอร์แลนด์	20-30
5. บังคลาเทศ	$\geq$15
6. เนปาล	$\geq$15
7. โอมาน	15-40 (เมื่อปี1996-2007 ใช้ 60-80 ppm)
8. ศรีลังกา	15 (เมื่อปี1995-2005 ใช้ 25 ppm)

ประเทศ	ปริมาณไอโอดีนในเกลือ (ppm)
9. มาเลเซีย	≥15
10. ออสเตรเลีย	20
11. โครเอเชีย	20-30
12. เนเธอร์แลนด์	50
13. โรมาเนีย	15-25

หมายเหตุ อ้างอิงข้อมูล 1-7 ข้อมูลจาก IDD Newsletter. 2010; 20(2) , 8-9 ข้อมูลจาก IDD Newsletter. 2010; 20(1) , 10-13 ข้อมูลจาก IDD Newsletter. 2002; 18(4)

ที่มา : (นันทยา และคณะ, 2554)

ทั้งนี้เพื่อให้ปริมาณไอโอดีนในเกลือมีความเพียงพอเหมาะสม ประเทศไทยหนึ่งในประเทศที่มีการกำหนดให้เกลือบริโภคทุกชนิดต้องเสริมไอโอดีน ผู้ผลิตต้องมีการควบคุมกระบวนการเติม หรือผสมไอโอดีนในการผลิต เพื่อให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงเกลือที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารทุกประเภทต้องใช้เกลือเสริมไอโอดีนตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาดำเนินการปรับปรุงประกาศว่าด้วยคุณภาพมาตรฐานของปริมาณไอโอดีนในเกลือ และเครื่องปรุงรสประเภทต่างๆ กระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 153) พ.ศ. 2537 เรื่อง เกลือบริโภค ขึ้นใหม่เป็น ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เกลือบริโภค ลงวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2553 กำหนดให้เกลือบริโภคทุกชนิดต้องเสริมไอโอดีนให้มีปริมาณโอไอดีนไม่น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

แม้ไอโอดีนจะเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายแต่หากร่างกายได้รับไอโอดีนในปริมาณที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ ดังนั้นจึงมีองค์กรหรือประเทศต่างๆ แนะนำปริมาณไอโอดีนที่ได้รับแล้วเป็นอันตรายดังในบทความ Newsletter ปี 2002

1. WHO เสนอปริมาณไอโอดีนที่ได้รับแล้วเป็นอันตรายต่อร่างกาย คือ 1,000 ไมโครกรัมต่อวัน

2. ประเทศออสเตรเลีย แนะนำปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับผู้ใหญ่ คือ 2,000 ไมโครกรัมต่อวัน และสำหรับเด็กคือ 1,000 ไมโครกรัมต่อวัน

3. ประเทศอังกฤษ แนะนำปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ปลอดภัย คือ 17 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมต่อวัน หรือไม่เกิน 1,000 ไมโครกรัมต่อวัน

4. ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศแคนาดา แนะนำปริมาณไอโอดีนสูงสุดที่ปลอดภัยสำหรับคนที่อายุ มากกว่า 19 ปี, หญิงตั้งครรภ์และหญิงให้นมบุตรคือ 1,100 ไมโครกรัมต่อวัน

อย่างไรก็ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เกลือบริโภค ลงวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2553 ฉบับดังกล่าวยังมิได้กำหนดปริมาณไอโอดีนสูงสุดซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้บริโภคได้รับ

ไอโอดีนเกินความต้องการของร่างกายจนเกิดอันตรายได้ และจากคาแนะนาของคณะผู้เชี่ยวชาญประกอบกับคำแนะนำตามมาตรฐานของ FAO/WHO สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงได้ปรับปรุงประกาศฯ ฉบับดังกล่าว เป็นประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องเกลือบริโภค ฉบับลงวันที่ 16 มีนาคม พ.ศ.2554 ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ.2554 เป็นต้นมา โดยกำหนดให้เกลือบริโภคต้องมีปริมาณไอโอดีนไม่น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม และไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีการควบคุมกระบวนการเติมหรือผสมไอโอดีนในกระบวนการผลิต เพื่อให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนอย่างสม่าเสมอ (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2554)

2.2 ไอโอดีน

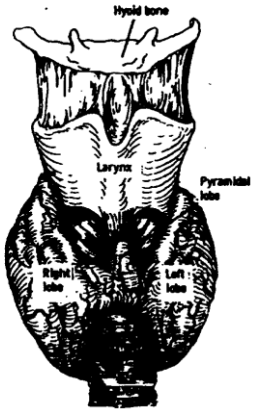
2.2.1 ความหมายของไอโอดีน

ไอโอดีน (Iodine) คือธาตุเคมีที่มีหมายเลขอะตอม 53 มีน้ำหนักอะตอม 126 กรัม และสัญลักษณ์คือ I (ไอโอดีนเป็นคำในภาษากรีก Iodes, มีความหมายว่า "สีม่วง") เป็นธาตุที่ไม่ละลายเป็นอโลหะ ลักษณะเงาวาว หลอมละลายที่ 114 องศาเซลเซียส สมบัติทางเคมีของไอโอดีนมีความไวน้อยกว่าธาตุในกลุ่มฮาโลเจนด้วยกัน เป็นธาตุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติอยู่ในดินและน้ำ ปริมาณไอโอดีนในแต่ละพื้นที่มีมากน้อยแตกต่างกัน เนื่องจากน้ำฝนจะชะเอาไอโอดีนในดินจากภูเขาและบริเวณที่ราบสูงไหลลงที่ราบลุ่ม ลงสู่แม่น้ำออกสู่ทะเล เมื่อน้ำทะเลระเหยไอโอดีนจะระเหยมาพร้อมกับน้ำเป็นเมฆและฝนตกลงสู่พื้นดิน พื้นดินจะกลับมีไอโอดีนอีกครั้ง ดังนั้นบริเวณที่อยู่ห่างไกลทะเลหรือบริเวณหลังเขาที่อับลมทะเลจึงมีปริมาณไอโอดีนสะสมอยู่ในดินต่ำกว่าในดินบริเวณปากแม่น้ำ บริเวณชายทะเล และทะเล มีผลให้สัตว์และพืชทะเลมีปริมาณไอโอดีนอยู่มาก (จุฑามาศ, 2540)

2.2.2 ความสำคัญของไอโอดีนที่มีต่อร่างกาย

ไอโอดีนเป็นเกลือแร่ที่ร่างกายต้องการใช้ในปริมาณน้อย แต่นับเป็นสารที่จำเป็นต่อร่างกายมาก โดยร่างกายนำไปใช้ในการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนของต่อมไทรอยด์ (วิชัย, 2532) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่มีหน้าที่สำคัญต่อร่างกายหลายประการ (รัชตะ, 2537) ในร่างกายมีไอโอดีนอยู่ประมาณ 25 มิลลิกรัม หรือประมาณร้อยละ 0.0004 ของน้ำหนักตัว ประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนนี้จะเก็บอยู่ในต่อมไทรอยด์ ส่วนที่เหลือจะกระจายอยู่ตามกล้ามเนื้อ ผิวหนัง ขุมขน ต่อมน้ำลาย ระบบทางเดินอาหารและกระดูก ในเลือดจะมีไอโอดีนอยู่น้อยมาก คือมีไม่ถึง 1 ใน 20 ล้านส่วน (สิริพันธุ์, 2541) โดยต่อมไทรอยด์เป็นต่อมไร้ท่อที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายและเก็บฮอร์โมนไว้ได้มากที่สุด (วิภา และสุภาพ, 2535) มีน้ำหนักประมาณ 30 กรัมและอาจจะแตกต่างกันออกไปได้ระหว่าง 5-10 กรัม ทั้งนี้

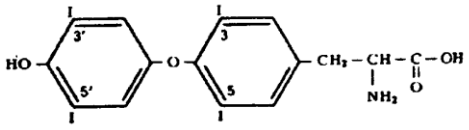
ขึ้นอยู่กับอายุ เพศ อาหาร และอากาศ เมื่อเจริญเต็มที่ต่อมนี้จะมีขนาดยาว 5 เซนติเมตร และกว้าง 3 เซนติเมตร โดยเป็นต่อมที่ได้รับเลือดมาเลี้ยงในปริมาณสูงมาก มีอยู่หนึ่งคู่ฝังอยู่บริเวณคอด้านหน้าของหลอดลม มีสองกลีบ (lobe) เชื่อมต่อกันตรงกลาง ด้วยส่วนที่เรียกว่า อิสทมัส (isthmus) ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (วิภา และสุภาพ, 2535)



ภาพที่ 2.1 ที่ตั้งของต่อมไทรอยด์ และการแบ่งเป็นกลีบ

ที่มา : วิภา และ สุภาพ (2535)

ต่อมไทรอยด์จะประกอบด้วยถุงฟอลิเคิล (follicle) ทรงกลมเล็กๆ จำนวนมากซึ่งแต่ละฟอลิเคิลจะมีเซลล์บุอยู่ชั้นเดียว ซึ่งเซลล์เหล่านี้จะเปลี่ยนรูปร่างได้ และเป็นที่สร้างฮอร์โมนแล้วเก็บไว้ในถุงฟอลิเคิล แล้วจึงปล่อยเข้าสู่ระบบหมุนเวียน โครงสร้างของฮอร์โมนเป็นไกลโคโปรตีน มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 66,000 ประกอบด้วยกรดอะมิโน 5,650 หน่วย จับต่อกันเป็นสาย ฮอร์โมนมีลักษณะเป็นคอลลอยด์เรียกว่า ไทโรโกลบูลิน (thyrogloburin) ฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมเป็น ไอโอไทโรนีน (iothyronine) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีไอโอดีนอยู่ด้วย มี 2 ชนิด คือ เททราไอโอโตไทโรนีน (tetraiodothyronine) หรือ ไทรอกซีน (throxine, T4) และไทรไอโอโดไทโรนีน (triodothyronine,T3) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (วิภา และสุภาพ, 2535)



ภาพที่ 2.2 ฮอร์โมนที่สร้างจากต่อมไทรอยด์

ที่มา : วิภา และ สุภาพ (2535)

2.2.3 การดูดซึมและการขับถ่ายไอโอดีน

ฮอร์โมนไทยรอยด์สร้างจากไอโอดีนที่ได้จากอาหารที่รับประทานหรือน้ำที่เราดื่ม ลำไส้จะดูดซึมไอโอดีนเหล่านี้สู่กระแสเลือดในเวลาเพียง 1 ชั่วโมง โดยร่างกายจะขับถ่ายไอโอดีนประมาณ 2/3 ออกทางปัสสาวะ และสะสมไว้ที่ต่อมไทรอยด์อีก 1/3 เมื่อเข้าไปในฟอลิคูลาร์เซลล์ (follicular cell) ของต่อมไทรอยด์ เอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (peroxidase) จะออกซิไดซ์ไอโอดีนไอออน (iodine ion) เป็นไอโอดีน จากนั้นทีเอสเอช (thyroid stimulating hormone, TSH) จะกระตุ้นให้มีการสร้างโมโนไอโดไทโรซีน (monoiodotyrosine, MIT) และไดไอโอโดไทโรซีน (diiodotyrosine. MIT) และ ไดไอโอไดไทโรซีน (diiodotyrosine. DIT) ขึ้นภายในโมเลกุลของไทโรโกลบูลิน (thyroglobulin) หลังจากนั้น จะมีปฏิกิริยาเข้าคู่กัน โดยอาศัยเอนไซม์ คือ MIT กับ DIT เกิดเป็น ไทรไอโอไทโรนีน (triodothyronine, T3) และ DIT กับ DIT เกิดเป็นเททราไอโอโดไทโรนีน (tetraiodothyronine) หรือ ไทรอกซีน (thyroxine,T4) ในขณะเดียวกันเซลล์จะปล่อยฮอร์โมนออกมาใช้โดยมีทีเอสเอช (TSH) เป็นตัวกระตุ้น และมีเอนไซม์โปรตีเอส (protease) มาย่อยได้ T3 และ T4 ออกจากเซลล์ ขณะเดียวกันก็จะได้ MIT กับ DIT ด้วยซึ่งเอนไซม์ดีไอโอไดเนส (deiodinase) ในต่อมไทรอยด์จะย่อย MIT กับ DIT ได้ไอโอไดด์กลับไปใช้ภายในต่อมต่อไป ซึ่งปริมาณไอโอไดด์ที่จะมีการกลับไปใช้นั้นมีประมาณ 1ใน 3 ของทั้งหมดในต่อม สำหรับ T3 และ T4 เมื่อร่างกายปล่อยออกมา จะจับกับไทรอกซีนบายดิงโปรตีน (thyroxine binding protein) ในพลาสม่า และพาไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ส่วน T3 จะจับกับโปรตีนอย่างหลวมๆ ไม่แข็งแรง จึงทำงานได้ดีกว่าไทรอกซีน 3 เท่า และสามารถผ่านผนังเซลล์ได้มากกว่าไทรอกซีน 20เท่า แต่จะออกฤทธิ์ได้ไม่นาน เพราะจะถูกทำลายอย่างรวดเร็วในเนื้อเยื่อและขับถ่ายออกมาทางปัสสาวะ สำหรับฮอร์โมนที่ไปที่ตับจะจับกับกรดกลูคูโรนิก และซัลเฟต แล้วขับออกทางน้ำดี บางส่วนของไอโอดีนร่างกายจะนำกลับไปใช้โดยต่อมไทรอยด์ได้อีก (มันทนา,2530)

2.2.4 หน้าที่ของไอโอดีนที่มีต่อร่างกาย

ช่วยในการทำงานและการเจริญเติบโตของต่อมไทรอยด์ และเป็นส่วนประกอบของฮอร์โมนไทรอกซีน ผลิตโดยต่อมไทรอยด์ (สิริพันธุ์, 2541) ซึ่งไทรอยด์ฮอร์โมนมีผลต่อร่างกายดังนี้

2.2.4.1 มีผลต่อการสร้างพลังงานโดยไทรอยด์ฮอร์โมนจะกระตุ้นให้ร่างกายมีการสร้างพลังงาน และความร้อน ทำให้เกิดความอบอุ่นแก่ร่างกาย (calorigenesis) เพื่อปรับตัวให้เข้ากับความร้อน หนาว และกระตุ้นการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น เต้นเร็วขึ้น บีบตัวแรงขึ้น ไกลโคเจนซึ่งเป็นสารให้พลังงานซึ่งได้มาจากคาร์โบไฮเดรตหรือแป้ง และถูกเก็บไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อจะเปลี่ยนเป็นพลังงาน ทำให้ปริมาณของสารพลังงานชนิดนี้ของร่างกายลดลง ไทรอยด์ฮอร์โมนยังเสริมการทำงานของเอนไซม์ของร่างกายในหลายๆระบบ (จิตร,2527)

2.2.4.2 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโปรตีน ไทรอยด์ฮอร์โมนในขนาดปกติกระตุ้นให้เซลล์สร้างโปรตีนเพิ่มมากขึ้นและทำให้ร่างกาย ได้แก่ กล้ามเนื้อในส่วนต่างๆ ของร่างกายสะสมไนโตรเจน ทำให้ร่างกายเจริญเติบโตเต็มที่ โดยทำงานร่วมกับฮอร์โมนสร้างความเติบโตที่ได้จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า (จิตร, 2527) แต่ไทรอยด์ฮอร์โมนในขนาดมากเกินกลับมีฤทธิ์ยับยั้งการสร้างโปรตีนและกระตุ้นการสลายโปรตีน (วิภา และสุภาพ, 2535) ทำให้โปรตีนแตกเป็นกรดอะมิโนและมวลกล้ามเนื้อของร่างกายลดลง (จิตร, 2527)

2.2.4 ภาวะขาดไอโอดีน

โรคขาดสารไอโอดีน หมายถึง ภาวะร่างกายได้รับสารไอโอดีนไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายเป็นประจำ ซึ่งมีผลต่อการสร้างไทรอยด์ฮอร์โมนทำให้เกิดการเสียสมดุลในการควบคุมการทำงานของต่อมไทรอยด์ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพที่เรียกว่า ความผิดปกติของการขาดสารไอโอดีน (Iodine Deficiency Disorder : IDD) คือเกิดอาการคอพอก (Goiter), ภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ (Hypothyrodism), โรคเอ๋อ (Cretinism) ซึ่งทำให้ระดับสติปัญญาพัฒนาด้อยกว่าปกติ และมีพัฒนาการทางร่างกายต่ำกว่าเกณฑ์ ถ้ามีการขาดสารไอโอดีนในหญิงตั้งครรภ์ จะมีผลทำให้ทารกมีพัฒนาการของสมอง และระบบประสาทที่ช้ากว่าปกติ และหากขาดสารไอโอดีนในระดับรุนแรง อาจทำให้แท้งหรือตายก่อนคลอด หรือเกิดความพิการแต่กำเนิด อาการแสดงของโรคขาดสารไอโอดีนนั้น ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการขาดสารไอโอดีน และช่วงระยะเวลาของการขาดสารไอโอดีน

2.2.4.1 ภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ (hypothyroidism) หมายถึง ภาวะที่ร่างกายมีไทรอยด์ฮอร์โมนไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะพบว่า อาการทั่วไปเป็นอาการที่เกิดจากร่างกายมีอัตราการเผาผลาญสารอาหารต่างๆ ลดลง

1. ในผู้ใหญ่ มีอาการเกียจคร้าน อ่อนเพลีย เชื่องช้า ง่วงซึม ผิวหนังแห้ง ทนความหนาวเย็นไม่ได้ ท้องผูก เสียงแหบ ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ (วิชัย, 2532)

2. ในวัยเด็ก นอกจากอาการแสดงที่กล่าว ยังพบอาการเชื่องช้าทางจิตใจ และเชาวน์ปัญญาอีกด้วย (วิชัย, 2532)

2.2.4.2 ครีทินิซึม (cretinism) หรือ “เอ๋อ” แม่ที่ขาดไอโอดีนขณะตั้งครรภ์ ลูกที่คลอดออกมาจะมีภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำตั้งแต่แรกเกิด ถ้าแม่ขาดไอโอดีนรุนแรงอาจทำให้ทารกตายตั้งแต่อยู่ในครรภ์หรือแท้งหรือพิการตั้งแต่กำเนิด และถ้าได้รับไอโอดีนน้อยกว่า 20 ไมโครกรัมต่อวัน ก็จะพบครีทินิซึมเฉพาะถิ่นในทารก (endemic cretinism) ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ

1. Neurological cretinism ผู้ป่วยมีสติปัญญาต่ำรุนแรง (mental deficiency) หูหนวกเป็นใบ้ มีความผิดปกติทางระบบประสาทเด่นชัดคือ การกระตุก ตาเหล่ ท่าเดินผิดปกติ

และกล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน ประชาชนในท้องถิ่นภาคเหนือเรียก “โรคเอ๋อ” หรือ “ใบ้ง่ั้ง” ถ้ามีการเดินกระตุก เรียก “เชอะมะ” ซึ่งเป็นภาวะการขาดไอโอดีนตั้งแต่อยู่ในครรภ์มารดา

2. Myxedematous cretinism ผู้ป่วยมีสติปัญญาต่ำมาก มีการเจริญเติบโตของร่างกายและกระดูกล่าช้ามาก รูปร่างของร่างกายไม่เจริญเต็มที่ ร่างกายจะเตี้ยแคระแกรน ผิวหนังหนาบวม กดไม่บุ๋ม ผิวหนังแห้งเย็น การเจริญทางเพศล่าช้า หูไม่หนวกและไม่เป็นใบ้ การเคลื่อนไหวเชื่องช้า โดยทั่วไปต่อมไทรอยด์ไม่โต โดยจากการสำรวจจำนวนครีทินิซึมในจังหวัดน่านเมื่อปี 2532 พบผู้ป่วยโรคเอ๋อที่มีอายุ 0 -15 ปี จำนวน 93 คน และอายุมากกว่า 15 ปี จำนวน 456 คน คิดเป็นร้อยละ 0.13

2.2.4.3 ผลต่อการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์ (Reproductive failure) การขาดไทรอยด์ฮอร์โมนทำให้ความรู้สึกทางเพศลดลง และประจำเดือนมาไม่ปกติ

2.2.4.4 การมีชีพในวัยเด็ก (childhood survival) การขาดสารไอโอดีนเป็นสาเหตุหนึ่งของการตายในเด็ก จากการวิจัยพบว่าเด็กที่ขาดสารไอโอดีนจะมีภูมิต้านทานโรค และภาวะโภชนาการต่ำกว่าเด็กที่ไม่ขาดสารไอโอดีน ตัวอย่างเช่น ในประเทศแชร์ อัตราการอยู่รอดในเด็กแรกเกิดของแม่ที่ได้รับไอโอดีนระหว่างตั้งครรภ์จะสูงเป็นสองเท่าของแม่ที่ไม่ได้รับสารไอโอดีนในระหว่างตั้งครรภ์ และในประเทศนิวกินี เด็กที่เกิดจากแม่ที่ได้รับไอโอดีนในขณะตั้งครรภ์จะมีชีวิตอยู่ได้ถึง 15 ปี ซึ่งมากกว่าเด็กที่แม่ไม่ได้รับไอโอดีนถึงร้อยละ 20 จากการสำรวจภาวะโภชนาการของเด็กวัยก่อนเรียนพบว่าในภาคเหนือ มีเด็กที่มีภาวะโภชนาการ ระดับ 3 หรือระดับต่ำรุนแรงสูงกว่าภาคอื่นๆ และสูงกว่าค่าเฉลี่ยของทั้งประเทศ (คณิณญา, 2536)

2.2.5 อาการของการได้รับไอโอดีนมากเกิน

การได้รับไอโอดีนมากเกินวันละ 2,000 ส่วนในล้านส่วนเป็นเวลานาน จะมีผลทำให้ต่อมธัยรอยด์สร้างธัยรอยด์ฮอร์โมนเพิ่มมากขึ้น เกิดภาวะธัยรอยด์ฮอร์โมนสูง (Hyperthyrodism) เกินที่จะสะสมไว้ได้ในต่อมธัยรอยด์จึงปล่อยลงสู่กระแสเลือด มีฤทธิ์กระตุ้นอวัยวะต่างๆ ให้ทำงานมากขึ้น หัวใจจะถูกกระตุ้นมากที่สุด ทำให้เกิดอาการใจสั่น หัวใจเต้นเร็วและแรง บางครั้งก็ไม่สม่ำเสมอ ทำให้เหนื่อยง่าย กระตุ้นเซลล์ของร่างกาย ให้สร้างพลังงานมากเกินพอ ทำให้ผู้ป่วยกลุ่มนี้มีพลังงานเหลือเฟือ จึงมักอยู่ไม่สุข ต้องทำโน่นทำนี่ ดูลุกรี้ลุกรน พูดเร็ว รวมแล้วดูเป็นคนหลุกหลิก ลอกแลก มักเป็นคนขี้ร้อน เหงื่อออกมาก ผู้ป่วยจึงมักชอบอากาศเย็นๆ แต่มือจะอุ่น และมักมีเหงื่อออกชุ่มหิวบ่อย กินจุแต่ไม่อ้วน น้ำหนักลด อุจจาระบ่อย ประสาทถูกกระตุ้นทำให้มีอาการคล้ายโรคประสาท มีอาการทางกล้ามเนื้อคือกล้ามเนื้อต้นแขน ต้นขา มักอ่อนแรง ถ้าเป็นมากๆ จะก้าวขึ้นบันได หรือรถเมล์ไม่ไหว ประจำเดือนบางทีมาน้อยหรือห่างออกไป ลูกตาอาจโปนถลนออกมา อาจมองเห็นภาพซ้อนกันอยู่เสมอ และการได้รับไอโอดีนมากเกิน (Iodine-induced hyperthyroidism) เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคธัยรอยด์เป็นพิษ การทำงานของต่อมธัยรอยด์ที่มากเกินไปดังกล่าวจะพบเป็น

เพียงชั่วคราวประมาณ 4-6 เดือนเท่านั้น หลังจากนั้นต่อมธัยรอยด์จะมีกลไกการปรับตัว (autoregulation) แม้ว่ายังได้รับไอโอดีนในปริมาณที่สูงก็ตาม โดยเอนไซม์จากต่อมธัยรอยด์จะทำงานลดลง ทำให้ขั้นตอนออกซิเดชั่นลดลง เพื่อปรับการสร้างธัยรอยด์ฮอร์โมน (สมจิตร์, 2547) หากได้รับไอโอดีนโดยตรงในครั้งเดียวประมาณ 2 กรัม ทำให้ปวดท้อง คลื่นเหียน อาเจียน ท้องร่วง เกิดแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ ปอดอักเสบ ไตวาย หมดสติ และตาย หรือหากสูดดมไอของไอโอดีนที่ความเข้มข้นเกิน 0.1 ส่วนในล้านส่วน เวลานาน จะทำให้เกิดการระคายเคืองตาและระบบหายใจ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ออนไลน์, 2553)

2.2.6 สถานการณ์โรคขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย

อดีตมักพบโรคคอพอกจากการขาดไอโอดีน ซึ่งพบมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากได้รับไอโอดีนจากอาหารที่มีอยู่ตามธรรมชาติไม่เพียงพอ รัฐบาลจึงได้สนับสนุนการป้องกันโรคคอพอก โดยเพิ่มไอโอดีนลงในเกลือที่ใช้รับประทาน ซึ่งทำให้อุบัติการณ์ของโรคนี้ลดลง แต่โรคขาดสารไอโอดีนก็ยังไม่หมดไปจากประเทศไทยอย่างสิ้นเชิง ปัจจุบันนี้พบโรคเอ๋อ ซึ่งเป็นอาการหนึ่งของการขาดสารไอโอดีนเช่นเดียวกัน จากการสำรวจสถานการณ์ภาวะขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ พ.ศ. 2552 ด้วยการเจาะส้นเท้าเด็กทารกจำนวน 760,000 คน พบว่า เด็กทารก ร้อยละ 90 มีภาวะขาดสารไอโอดีน คือมีระดับ Thyroid Stimulating Hormone (TSH) มากกว่า 11.2 มิลลิยูนิตต่อลิตร เกินร้อยละ 3 (เกณฑ์มาตรฐานของ WHO/ICCIDD/UNICEF ปี ค.ศ. 2007) ซึ่งสอดคล้องกับการสำรวจระดับไอคิวของเด็กไทย โดย สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส.) ปี พ.ศ. 2552 จากกลุ่มตัวอย่าง 6,000 ราย ใน 21 จังหวัด พบไอคิวเฉลี่ยอยู่ที่ 91 จุด ซึ่งค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับไอคิวเฉลี่ยสากลที่อยู่ที่ 90-110 จุด ขณะเดียวกันผลการสำรวจพัฒนาการสมวัยในเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ปี ของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบมีพัฒนาการสมวัยลดลงเรื่อยๆ โดยปี พศ.2542 มีพัฒนาการสมวัยร้อยละ 72 ปี 2547 ร้อยละ 71 และปี พศ. 2550 ลดลงเหลือร้อยละ 67

2.2.7 แนวทางการแก้ไขปัญหาตามนโยบาย

โรคขาดสารไอโอดีนเป็นปัญหาสาธารณสุขไทยมากว่า 50 ปีมาแล้ว ประเทศไทยได้มีการดำเนินโครงการต่าง ๆ เพื่อขจัดโรคขาดสารไอโอดีนให้หมดไปจากประเทศไทย แต่จากการประเมินโครงการขจัดโรคขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย โดยคณะผู้เชี่ยวชาญโรคขาดสารไอโอดีนจากต่างประเทศ เมื่อปีพ.ศ.2552 พบว่าประเทศไทยยังไม่มีความก้าวหน้าเพียงพอในการขจัดโรคขาดสารไอโอดีน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายเกลือเสริมไอโอดีนถ้วนหน้า (Universal Salt Iodization : USI) ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมไอโอดีนในเกลือเป็นวิธีที่ปลอดภัย และประหยัดที่สุด

เพราะเกลือมีความเค็มจึงเป็นข้อจำกัดในการบริโภคทำให้ผู้บริโภคได้รับไอโอดีนในระดับที่ไม่เกินความต้องการของร่างกาย และมีต้นทุนในการเสริมไอโอดีนในเกลือเพียง 1.3 บาทต่อคนต่อปีเท่านั้น

คณะกรรมการควบคุมโรคขาดสารไอโอดีนแห่งชาติ ซึ่งแต่งตั้งขึ้นเมื่อปีพ .ศ.2532 โดยมีสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นองค์ประธาน และผู้บริหารระดับสูงจากกระทรวงทบวงกรม รวม 11 หน่วยงาน เป็นคณะกรรมการ จึงได้มีการประชุมกันเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ.2553 เพื่อกำหนดแนวทางในการขจัดโรคขาดสารไอโอดีน และเห็นชอบให้มีการปรับปรุงแก้ไขกฎหมายที่เกี่ยวข้องและบังคับใช้กฎหมายอย่างเคร่งคัด สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาจึงได้ทบทวนและปรับปรุงประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 153) พ.ศ.2537 เรื่อง เกลือบริโภค เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการขจัดโรคขาดสารไอโอดีนอย่างยั่งยืน

2.3 กระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีน

2.3.1 การผลิตเกลือเสริมไอโอดีน

มาตรการที่สำคัญในการดำเนินงานควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน และเป็นมาตรการหลักในการดำเนินงาน คือการส่งเสริมการบริโภคเกลือไอโอดีน กรมอนามัยได้ส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 และได้ขยายการสนับสนุนออกไปในท้องถิ่นทุกภาค เพื่อให้มีเกลือเสริมไอโอดีน จำหน่ายในท้องถิ่น และประชาชนได้บริโภคเป็นประจำอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง เนื่องจากเกลือเป็นสื่อกลางที่เหมาะสมในการดำเนินงาน โดยมีเหตุผลดังนี้

2.3.1.1 เกลือเป็นเครื่องปรุงรสเค็มที่ใช้กันทั่วไป ในการประกอบอาหาร

2.3.1.2 สามารถผสมสารไอโอดีน (โพแตสเซียมไอโอเดท) ได้ง่ายและมีอัตราการสลายตัวได้ช้า

2.3.1.3 ควบคุมปริมาณการได้รับสารไอโอดีนได้ง่ายกว่าการเสริมแบบอื่น เนื่องจากความเค็มของเกลือ ทำให้บริโภคได้จำกัด แต่จำเป็นต้องบริโภคทุกวัน

2.3.1.4 ตรวจสอบคุณภาพ ณ จุดผลิตและจุดบริโภคได้ง่ายด้วยชุดทดสอบเกลือเสริมไอโอดีน

2.3.1.5 สามารถสำรวจความครอบคลุมตาม เส้นทางเกลือได้ง่าย

จากแนวทางการผสมเกลือเสริมไอโอดีนของกรมอนามัย แนะนำว่า วิธีการผสม น้ำไอโอดีน 10 ซี.ซี. ต่อเกลือ 1 กิโลกรัม ผสมแล้วเกลือมีไอโอดีน 50 ppm ซึ่งวิธีการผสมเกลือนี้บอกปริมาณเกลือ 100 กิโลกรัม ต่อน้ำไอโอดีน 1 ลิตร ในทางปฏิบัติของผู้ผลิตเกลือฯในพื้นที่รับผิดชอบจะใช้เกลือสินเธาว์ที่บรรจุ 1 ถุงปุ๋ย มีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม เวลาผสมเกลือ ผู้ผลิตจะใช้น้ำ

ไอโอดีน 1 ขวดน้ำอัดลม ประมาณ 1250 ซีซี ผสมเกลือได้ 3 ถุงปุ๋ย โดยใช้ปากกาเคมีขีดเป็นเส้นแบ่งได้ 3 ส่วน จากนั้นผสมที่ละ 1 ถุงปุ๋ย ต่อน้ำไอโอดีน 1 ส่วน ผลการทดสอบคุณภาพเกลือไม่สม่ำเสมอจึงนำมาสู่การหาแนวทาง หรือวิธีการผลิต

2.3.3 วิธีการการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน

2.3.3.1 การผลิตเกลือเสริมไอโอดีน ทำได้หลายวิธี ได้แก่ (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2552)

1. Dry mixing เป็นการพ่น KIO_3 ลงในเกลือผ่านระบบสายพาน พ่นลงในเกลือเหมาะกับการผสมเกลือป่น Drip feed addition ใช้กับเกลือเม็ด โดยละลาย KI หรือ KIO_3 และหยดในอัตราสม่ำเสมอลงสู่สายพานลำเลียงเกลือตลอดเวลา โดยคำนวณให้มี Iodine ในปริมาณไม่ต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2. Spray mixing เป็นการพ่นสารละลาย KIO_3 เป็นวิธีการพ่นสารละลายไอโอดีนภายใต้ความดันที่สม่ำเสมอลงบนเกลือที่ไหลมาตามสายพาน

3. Submersion process เป็นวิธีการที่เสริมสารละลายไอโอดีนลงในขบวนการผลิตเกลือเป็นสารละลาย และปล่อยให้เกลือตกผลึก วิธีนี้ใช้เวลานาน แต่เกลือที่ได้มีไอโอดีนสม่ำเสมอ

4. Blender process เป็นวิธีการเสริมสารละลายไอโอดีน โดยการพ่นสารละลายไอโอดีนในเครื่องผสม เหมาะสำหรับผสมเกลือในขวด 0.5 - 3 ตัน/ช.ม.

2.3.3.2 กระบวนการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนของประเทศไทย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ การผลิตแบบกะ และการผลิตแบบต่อเนื่อง (แสงโสม, 2544) ดังนี้

1. การผลิตแบบกะ

เป็นการผสมเกลือไอโอดีนเป็นครั้ง ๆ ตามปริมาณเกลือแกงและสารละลายไอโอดีนที่ได้คำนวณไว้ ซึ่งการผสม แบ่งออกเป็นการผสมด้วยเครื่อง และการผสมด้วยมือ (a) การผสมด้วยเครื่อง มักเป็นถังผสมที่ผนังถังด้านในมีสัน 2-3 สัน หรือที่แกนกลางมีแกนหรือใบกวน ถังส่วนใหญ่มักวางในมุมเฉียงกับพื้น หรือ วางตั้งฉากกับพื้น หรือวางขนานกับพื้นก็ได้ ขึ้นกับการออกแบบถังผสม ซึ่งการผสมด้วยเครื่อง จะต้องควบคุมปริมาณเกลือ และสารละลายไอโอดีน รวมทั้ง เวลาที่ใช้ผสม (b)การผสมด้วยมือ เป็นการใช้มือคลุกเคล้าเกลือและสารละลายไอโอดีนให้เข้ากันในทุกจุด หรืออาจใช้เครื่องมือที่ใช้ช่วยในการโกยเกลือ เช่น ไม้พาย

2. การผลิตแบบต่อเนื่อง

เป็นการผสมเกลือไอโอดีนอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องมือ โดยการลำเลียงเกลือลงบนสายพานอย่างสม่ำเสมอ เกลือจะผ่านหัวฉีดที่มีการสเปรย์สารละลายไอโอดีนอย่างต่อเนื่องและสู่ขั้นตอนการคลุกเคล้า ส่วนใหญ่มักเป็นสกรู ปริมาณเกลือแกงและสารละลายไอโอดีนจะต้องผสมกันในสัดส่วนที่กำหนดไว้ ได้แก่ เครื่องต้นแบบยูนิเซฟ เป็นต้น

จากกรณีศึกษาการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนตามวิถีชาวบ้าน พบผู้ประกอบการใช้มือคลุกผสมเกลือบริโภคและสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตให้เข้ากันหรืออาจใช้เครื่องมือ เช่น จอบ/ไม้พาย ช่วยในการคลุกผสม โดยใช้อุปกรณ์ฉีดพ่นสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ได้แก่ ขวดน้ำหรือขวดน้ำอัดลมเจาะรูบนฝา คิดเป็นร้อยละ 73.33 ขวดฉีดน้าหรือพ่นน้ำ (Foggy) คิดเป็นร้อยละ 20.00 และบัวรดน้ำ คิดเป็นร้อยละ 6.67 (นฤมลและคณะ, 2555) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 Spraying equipment of potassium iodate

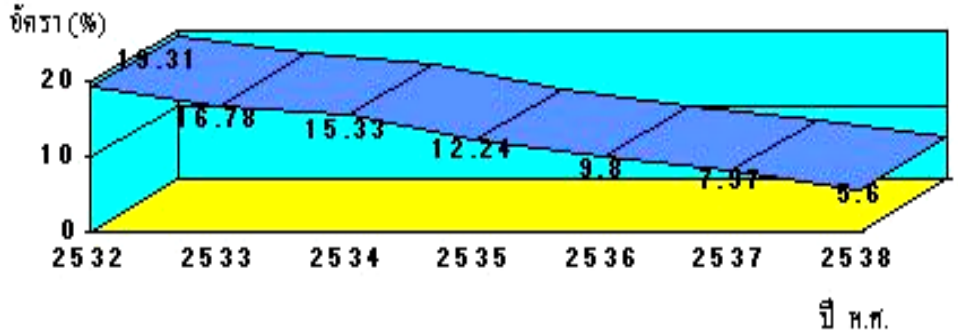
Equipment	**Number of case**	**Percentage**
Bottle cap with a hole	11	73.33
Foggy	3	20.00
Water lotus	1	6.67
Total	**15**	**100**

ที่มา : นฤมลและคณะ(2555)

อุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิดนั้นไม่มีสเกลบ่งบอกปริมาตร อย่างไรก็ตาม ขวดฉีดน้ำหรือพ่นน้ำเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการฉีดพ่นสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตให้เป็นฝอยกระจายอย่างทั่วถึงได้ ทั้งนี้จึงต้องมีการตวงปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตให้มีสัดส่วนถูกต้องก่อนบรรจุในขวดฉีดน้ำหรือพ่นน้ำ และคอยตรวจสอบการอุดตันของหัวฉีดในการฉีดพ่นสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดต (นฤมลและคณะ, 2555)

2.3.4 ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากรายงานสถานการณ์ของโรคขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย กรมอนามัยได้จัดตั้งระบบการเฝ้าระวังโรคขาดสารไอโอดีน ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2532 โดยใช้อัตราคอพอกในนักเรียนประถมศึกษาเป็นดัชนีชี้วัด ซึ่งมีอัตราคอพอก และจำนวนพื้นที่ดำเนินการ (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 อัตราคอพอกของประเทศไทย

ที่มา : กรมอนามัย (2532)

จะเห็นได้ว่าโรคขาดสารไอโอดีนยังคงเป็นปัญหาสาธารณสุขของประเทศไทย แม้ว่าสถานการณ์อัตตราคอพอกในเด็กนักเรียน มีแนวโน้มลดลงตามลำดับ จากร้อยละ 19.3 ในปี 2532 ลงมาเป็น 2.2 ในปี พ.ศ. 2542 (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2542) สอดคล้องกับรายงานสถานการณ์โรคขาดสารไอโอดีนของศูนย์ส่งเสริมสุขภาพเขต 4 ราชบุรี ซึ่งสถานการณ์ลดลงจากร้อยละ 6.3 ในปี 2535 เป็น 1.2 ในปี 2543 แต่ยังพบมีการระบาดของโรคกระจายอยู่ในพื้นที่หลายแห่งตามชายแดนของประเทศ

จังหวัดน่านซึ่งเป็นแหล่งที่ผลิตเกลือสินเธาว์แหล่งใหญ่ของภาคเหนือโดยมีการผลิตเกลือสมุทรและเกลือสินเธาว์รวมกันคิดประมาณ 600 ตันต่อปี มีอำเภอบ่อเกลือ เป็นแหล่งผลิตเกลือสินเธาว์ภูเขาที่มีการผลิตเกลือมาหลายร้อยปีแล้ว (หนังสือพิมพ์ล้านนาไทย, 2554) มีกำลังการผลิตประมาณ 320 ตันต่อปี แต่จากข้อมูลปีพ.ศ.2532 พบว่าเด็กร้อยละ 0.13 เป็นโรคเอ๋อ (Cretinism) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขาดสารไอโอดีน จึงมีการดำเนินโครงการต่างๆ เพื่อควบคุมและป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน จากการสารวจสถานการณ์ของจังหวัดน่านในปี พ.ศ.2551 พบว่าเด็กทารกมีระดับ TSH มากกว่า 11.2 มิลลิยูนิตต่อลิตร ร้อยละ 7.15 และหญิงตั้งครรภ์มีระดับไอโอดีนในปัสสาวะน้อยกว่า 150 ไมโครกรัมต่อลิตร ร้อยละ 61.87 (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดน่าน , 2554) ซึ่ง แสดงว่าการดำเนินการแก้ไขปัญหาโรคขาดสารไอโอดีนในจังหวัดน่านนั้นยังไม่บรรลุผลสาเร็จเท่าที่ควร (นฤมล และคณะ, 2555)

ในปี พ.ศ. 2552 จังหวัดสมุทรสาคร เป็นพื้นที่ที่มีภาวะขาดสารไอโอดีนอยู่ในระดับเล็กน้อย รายละเอียดดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ร้อยละของผลตรวจเลือดเด็กแรกเกิดอายุ 2 วันขึ้นไป ที่มีค่าTSH >11.25 mU/L พ.ศ.2548-2552 จาแนกรายอาเภอและภาพรวมของแต่ละจังหวัด

จังหวัด สมุทรสาคร	2548	2549	2550	2551	2552
อ. เมือง	25.85	26.90	16.68	20.83	16.51
อ.กระทุ่มแบน	15.74	17.05	10.15	10.30	10.53
อ. บ้านแพ้ว	24.40	20.19	13.27	16.22	12.34
สมุทรสาคร	**21.96**	**22.51**	**13.98**	**16.34**	**14.00**

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์สมุทรสงคราม, 2553 (นฤมลและคณะ, 2555)

ตารางที่ 2.4 ผลตรวจ Urine Iodine เดือน พ.ย. 53 กับ TSH in New Born ก.ย. 52 - ส.ค. 53

ปริมาณสารไอโอดีนที่พบในปัสสาวะของหญิงตั้งครรภ์ น้อยกว่า 150 µg/L	ปริมาณไทรอยด์ฮอร์โมนในทารกแรกเกิด 2 วัน TSH >11.25 mU/L
ร้อยละ 51.71	ร้อยละ 12.2

ที่มา : Urine Iodine จากห้องปฏิบัติการ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ ศูนย์อนามัยที่ 4
ค่า TSH in New Born จากศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์สมุทรสงคราม
(นฤมลและคณะ, 2555)

ผลการศึกษาปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพเกลือเสริมไอโอดีนในประเทศไทยของ วิสิฐ (2540) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือ คือ วิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ในการเสริม ความถูกต้องของปริมาณเกลือและไอโอดีนที่ใช้เสริม สัดส่วนที่ถูกต้องของสาร (KIO3:น้ำ:เกลือ) วิธีการบรรจุ และระยะเวลาในการเก็บเกลือเสริมไอโอดีน

จากการสำรวจคุณภาพและความครอบคลุมการบริโภคเกลือเสริมไอโอดีนใช้ แต่เป็นเกลือสริมไอโอดีนที่ไม่มีคุณภาพมากกว่าร้อยละ 50 (กลุ่มงานควบคุมและป้องกันภาวะทุพโภชนาการ กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2541) ยังสอดคล้องกับรายงานของ ภิญโญ และคณะ, 2542 พบว่าโรงงาน / แหล่งผลิตเกลือส่วนใหญ่ยังไม่สามารถผลิตเกลือให้มีไอโอดีนตามมาตรฐานอย่างเสม่ำเสมอได้

มีการจัดสำรวจความครอบคลุมการบริโภคเกลือเสริมไอโอดีนในระดับครัวเรือนของประเทศไทยโดย กองโภชนาการ พ.ศ. 2541 ด้วยการใช้ชุดทดสอบ I-kit ตรวจตัวอย่างเกลือที่ใช้ในครัวเรือน พบว่าคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนยังอยู่ในระดับต่ำกว่าเป้าหมายและไม่ได้มาตรฐานอีกมาก โดยพบว่าเกลือป่นร้อยละ 21.4 และเป็นเกลือเม็ดร้อยละ 76.9 ยังไม่มีการเสริมไอโอดีน

(พนัสและนิศา , 2545) จากผลการสำรวจคุณภาพและความครอบคลุมการใช้เกลือเสริมไอโอดีน 60 หมู่บ้านในจังหวัดราชบุรีและสมุทรสงคราม จำนวน 600 ครัวเรือน พบว่ามีการใช้เกลือบริโภค 590 ครัวเรือน เก็บตัวอย่างเกลือได้ 580 ตัวอย่าง เป็นเกลือเสริมไอโอดีน 474 ตัวอย่าง เกลือธรรมชาติ 106 ตัวอย่าง เมื่อทดสอบด้วย I-kit พบว่า เกลือที่ระบุว่าเป็นกลือเสริมไอโอดีนได้มาตรฐาน (30-100 ppm) ร้อยละ 47.26 และที่ไม่ได้มาตรฐาน (<30 หรือ >100 ppm) ร้อยละ 52.74

(โสภิณ, 2546) จากการสำรวจปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคที่วางจำหน่ายที่จังหวัดในเขต 6 จำนวน 4 จังหวัด ได้แก่ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ สกลนคร และเลย ในช่วงเดือนมกราคมถึงกันยายน 2546 จำนวน 109 ตัวอย่าง พบเกลือที่ตกมาตรฐาน 18 ตัวอย่าง ร้อยละ 16.51 และเมื่อเก็บตัวอย่างเกลือบริโภคที่ตกมาตรฐานจากแหล่งผลิต 9 ตัวอย่าง 2 ยี่ห้อ จากผู้ผลิต 5 ราย พบวา มีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ฉะนั้นตัวอย่างเกลือบริโภคที่ตกมาตรฐานนั้นมีสาเหตุจากแหล่งผลิตไม่ใช่จากแหล่งจำหน่าย ซึ่งการควบคุมการผลิตมีความสำคัญในคุณภาพของเกลือบริโภค ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องและผู้ประกอบการควรประสานงานในการควบคุมคุณภาพเกลือบริโภค

กิตติ (2551) ทำการวิจัยกระบวนการในการผลิตและคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนของโรงงานผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในประเทศไทย โดยมีกลุ่มตัวอย่าง คือ โรงงานเกลือเสริมไอโอดีน จำนวน 26 แห่ง ซึ่งได้รับการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งกลุ่มตามภูมิภาค ได้แก่ ภาคเหนือ (8 แห่ง) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (8 แห่ง) ภาคกลาง (7 แห่ง) และภาคใต้ (3 แห่ง) คิดเป็นร้อยละ 14 ของจำนวนโรงงานเกลือเสริมไอโอดีนที่ลงทะเบียน (191 แห่ง) เมื่อ พ.ศ. 2549 โดยใช้ชุดทดสอบ I-kit พบว่า โรงงานเกลือเสริมไอโอดีนขนาดใหญ่

นอกจากนี้มีการสุ่มตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนที่จำหน่ายในท้องตลาดและจากกระบวนการผลิตของภาคกลางระหว่างเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม 2553 จานวน 71 ตัวอย่าง พบว่า มี 27 ตัวอย่างที่ไม่ผ่านเกณฑ์ และช่วงค่าปริมาณสารไอโอดีนที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 1.58-285 ppm. (นิพัทธา และวริพัสย์, 2553) สำหรับในอาหารทั่วๆไป มีไอโอดีนอยู่ในปริมาณน้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ในผักสด ไข่ไก่ ไข่เป็ด ไก่ หมู วัว น้าหนัก 1 ขีด มีไอโอดีนไม่ถึง 60 ไมโครกรัม ทำให้ต้องกินในปริมาณมากต่อวันจึงจะได้รับสารไอโอดีนเพียงพอ

2.4 อายุการเก็บรักษา (ประมวล, 2556)

2.4.1 ทฤษฎี

อายุการเก็บรักษา (shelf life) หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่อาหารอยู่ในบรรจุภัณฑ์และการเก็บรักษาในสภาวะที่กำหนด ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้ โดยอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์เป็นการบ่งบอกระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความปลอดภัยต่อการบริโภค รวมถึงยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัส เคมี กายภาพ และชีวภาพ เป็นที่พึงพอใจ และคงไว้ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการตามที่ได้ระบุไว้ในฉลากโภชนาการ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการเก็บรักษาตามสภาวะที่เหมาะสม

นอกจากนี้ อายุการเก็บผลิตภัณฑ์ยังหมายถึงระยะเวลาที่คุณสมบัติของอาหารยังคงเป็นที่ยอมรับได้ของลูกค้า ผู้ผลิตอาหารต้องรับผิดชอบว่าอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ของตนนั้นต้องไม่สั้นกว่าวันหมดอายุ (expiring date) ที่ประทับไว้บนผลิตภัณฑ์

1. มีความปลอดภัย
2. มีลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส เคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ ที่ต้องการอยู่
3. สอดคล้องกับการระบุข้อมูลทางด้านโภชนาการที่ระบุไว้

โดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงในขณะเก็บรักษาเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ เพราะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏ ความคงตัว กลิ่นรส กลิ่นและเนื้อสัมผัส การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์อายุการเก็บผลิตภัณฑ์ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารทุกชนิดจะเปลี่ยนไปเมื่อเก็บรักษา อาจเกิดขึ้นได้เร็วมาก เช่น ในผลิตภัณฑ์สด เป็นต้น หรืออาจเกิดขึ้นได้ช้ามาก เช่น อาหารกระป๋อง เป็นต้น อายุการเก็บผลิตภัณฑ์เป็น ค่าที่ประมาณได้ยาก เนื่องจากถ้าใช้วิธีทดสอบอายุการเก็บตามหลักการคือ บรรจุอาหารตามเงื่อนไขการผลิต ตั้งไว้ในสภาวะที่ต้องการ หาค่าอายุการเก็บจริง กำหนดค่าช่วงเวลาของการทดสอบแล้วนำตัวอย่างอาหารมาตรวจวัดค่าตัวแปรที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ ติดตามดูเวลาเก็บเท่าใดที่ทำให้อาหารที่บรรจุเสื่อมสภาพ แต่การทดลองดังกล่าวให้เวลายาวนานและหากต้องการตรวจผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก เวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสภาวะจะเพิ่มมากขึ้นและในทางอุตสาหกรรมไม่สามารถรอผลการทดลองยาวนานได้ ดังนั้นจึงมีการทดลองในสภาวะเร่ง โดยทดสอบการเก็บตัวอย่างผลิตไว้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเรียกว่า การทดสอบในสภาวะเร่ง (Accelerated Shelf Life Test, ASLT)

2.4.2 อายุการเก็บรักษาของเกลือเสริมไอโอดีน

2.4.2.1 จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (ประมวล, 2556)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมี รวมถึงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ที่เกิดการขึ้นในอาหาร ในระหว่างอายุการเก็บของอาหาร เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์

อาหารเสื่อมเสีย โดยอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพนี้ขึ้นกับปัจจัยภายในหลายอย่าง ได้แก่ ปัจจัยภายในตัวอาหารเอง เช่น องค์ประกอบของอาหารที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ตัวอย่างสารอาหารประเภทต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น และปัจจัยภายนอก ได้แก่ สภาวะแวดล้อมที่เก็บรักษาอาหารนั้น เช่น การเก็บรักษาอาหารที่อุณหภูมิไม่เหมาะสม การทำให้อาหารมีการสัมผัสกับจุลินทรีย์โดยตรง เป็นต้น ซึ่งวิธีการศึกษาการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร ในเบื้องต้นจำเป็นต้องศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Kinetics of Reaction) ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ซึ่งเป็นการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยวัดจากมวล หรือคุณภาพบางด้านของผลิตภัณฑ์เริ่มต้น ที่ลดลงต่อเวลา โดยจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยานี้สามารถนำมาใช้อธิบายอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของอาหารได้

จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยานี้ ถ้ากำหนดให้ A B และ C เป็นสารเริ่มต้น หรือคุณภาพเริ่มต้น เมื่อคุณภาพของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลง จะเกิดจากสารเริ่มต้นเหล่านี้ทำปฏิกิริยากันแล้วจะให้ผลลัพธ์เป็นสาร D E และ F ดังสมการที่ (1) โดย

$$\underline{a}A + \underline{b}B + \underline{c}C + \ldots\ldots \underset{kb}{\overset{kf}{\rightleftharpoons}} \underline{d}D + \underline{e}E + \underline{f}F + \ldots\ldots \quad (1)$$

a, b, c, d, e และ f เป็นค่าสัมประสิทธิ์ตัวคูณของสารเริ่มต้น และสารที่ได้

kf เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาทางตรง (f ย่อมาจาก forward)

kb เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (b ย่อมาจาก backward)

โดยปกติแล้ว การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา เพื่อนำไปอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร จะใช้วิธีการวัดจากการลดลง หรือการเปลี่ยนแปลงของสารที่สามารถวัดได้ง่าย ไม่ซับซ้อนมากเป็นเกณฑ์ในการวัด จะสามารถแสดงได้ด้วยสมการ ที่ (2) ตัวอย่างเช่น ถ้าอาหารที่ต้องการเก็บรักษา เป็นอาหารประเภท ที่มีวิตามินซีสูง และพิจารณาแล้วว่าการลดลงของวิตามินทำให้อาหารนั้นมีคุณลดลง ไม่เหมาะสมต่อการบริโภค ดังนั้น สาร A ที่ต้องการวัด ก็คือปริมาณวิตามินซีที่ลดลงนั่นเอง

$$d[A]/dt = kf[A]^a [B]^b [C]^c \ldots - kb[D]^d [E]^e [F]^f \ldots \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) เมื่อต้องการอธิบายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร โดยใช้วิธีการวัดจากการลดลงของสาร A เป็นหลัก เนื่องจากสาร A สามารถทำการวัดได้ง่าย และไม่ซับซ้อน จะพบว่าด้านซ้ายมือของสมการ จะเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร [A] ต่อเวลา โดย

[A] เป็นความเข้มข้นของสาร A

[B] เป็นความเข้มข้นของสาร B

[C] เป็นความเข้มข้นของสาร C

[D] เป็นความเข้มข้นของสาร D

[E] เป็นความเข้มข้นของสาร E

[F] เป็นความเข้มข้นของสาร F

a เป็นอันดับของปฏิกิริยา (Reaction Order) ของสาร A

b เป็นอันดับของปฏิกิริยา (Reaction Order) ของสาร B

c เป็นอันดับของปฏิกิริยา (Reaction Order) ของสาร C

d เป็นอันดับของปฏิกิริยา (Reaction Order) ของสาร D

e เป็นอันดับของปฏิกิริยา (Reaction Order) ของสาร E

f เป็นอันดับของปฏิกิริยา (Reaction Order) ของสาร F

หมายเหตุ * อันดับปฏิกิริยา หมายถึง ตัวเลขยกกำลังที่แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนแปลงไป ที่มีต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

เนื่องจากสมการ (2) มีความซับซ้อน และหาผลลัพท์ของสมการได้ค่อนข้างยุ่งยาก จึงได้มีการดัดแปลงสมการให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น โดยจะกำหนดขอบเขตของปฏิกิริยาให้กระชับมากขึ้น เพื่อลดความซับซ้อนของปฏิกิริยา เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีองค์ประกอบเป็นจำนวนมาก มีสารประกอบที่ซับซ้อน ถ้าจะทำการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร โดยวิเคราะห์คุณภาพในทุกด้านคงจะทำได้ยาก

ดังนั้นในการประเมินผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในปัจจุบัน จะใช้วิธีวัดการเปลี่ยนแปลงในบางด้าน หรือ บางคุณลักษณะ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง หรือ เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น จะไปมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์อาหารเอง เช่น การลดลงของปริมาณวิตามิน เป็นต้น และยังมีการทดสอบผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารบางอย่าง ที่ไม่เกี่ยวพันธ์กับ การเปลี่ยนแปลงสารประกอบของสารเริ่มต้นอย่างใดอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์อาหาร

โดยตรง แต่เป็นผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงสารประกอบของอาหารหลายๆอย่างร่วมกัน จนได้สารประกอบใหม่

ซึ่งค่าทางเคมีเหล่านี้ สามารถใช้เป็นดัชนี บ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยในระหว่างอายุการเก็บ หรือการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหาร ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณจุลินทรีย์ ที่เกิดขึ้นจะไม่สามารถบ่งบอกว่า องค์ประกอบใดของอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงไปบ้างอย่างชัดเจน แต่ก็สามารถบอกได้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆ เกิดการเสื่อมเสียและไม่เหมาะสมที่จะทำการบริโภคต่อไป หรือแม้กระทั่งการวัดการเปลี่ยนแปลงของอาหาร โดยใช้วิธีทดสอบด้วยการชิม ก็เป็นที่นิยมไม่แพ้กับวิธีอื่นๆ ถึงแม้ว่าวิธีนี้ไม่ใช่การทดสอบทางวิทยาศาสตร์โดยตรง แต่ก็สามารถบ่งชี้ได้ว่า เมื่อมีกลิ่น รส สี เนื้อสัมผัส และความชอบรวม เกิดการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น และไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

ทั้งนี้ไม่ว่าจะวัดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารด้วยวิธีใดก็ตาม จำเป็นต้องแปลงค่าต่างๆเหล่านั้นให้เป็นตัวเลขก่อน จะมีหน่วยหรือไม่ก็ได้ และขอให้ค่าที่วัดได้เหล่านั้นสามารถใช้เป็น ดัชนีบ่งชี้คุณภาพให้สอดคล้องกับการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนั้นๆได้

ดังนั้นในการประเมินการเสื่อมเสีย หรือการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยใช้วิธีการติดตามการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่งดังที่กล่าวมาแล้วจะสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ใหม่ได้ดังสมการที่ (3)

$$\pm d[A]/dt = k[A]^n \qquad (3)$$

k เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ทำการศึกษา

โดย A เป็นค่าของดัชนีบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารอย่างใดอย่างหนึ่ง ที่ประเมินแล้วว่าจะเป็นดัชนีที่ดีที่สุดในการประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ซึ่งอาจจะเป็นค่าที่เพิ่มขึ้น (เป็นบวก) หรือลดลงก็ได้ (เป็นลบ) ขึ้นอยู่กับว่าสิ่งที่ติดตามนั้นเพิ่มขึ้น หรือลดลง เช่น เมื่อกำหนดให้วิตามินซีเป็นคุณภาพสำคัญของผลิตภัณฑ์อาหาร การตรวจวัดปริมาณวิตามินซีในอาหารเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพ

สำหรับ n ที่เป็นเลขยกกำลัง เป็น อันดับปฏิกิริยา หมายถึง ตัวเลขยกกำลังที่แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนแปลงไป ที่มีต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร

2.4.2.2 การคำนวณอายุการเก็บรักษา

การคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นการหาเวลาที่อาหารจะหมดอายุ เพื่อใช้ในการกำหนดวันหมดอายุข้างบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทั้งผู้บริโภค และผู้ผลิต โดยผู้บริโภคได้มีโอกาสในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ผู้ค้ารายย่อยสามารถคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุออกจากชั้นวางสินค้าได้อย่างสะดวก และ ผู้ผลิตสามารถกำหนดวันเก็บสินค้าคืนได้อย่างแม่นยำ เพื่อเข้าสู่กระบวนการทำลายต่อไป

ในการคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร สิ่งแรกที่ต้องทำความเข้าใจ คือ อันดับของปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ตามดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหารแต่ละชนิด ดังกล่าวมาแล้ว ตัวอย่าง เช่น อาหารประเภทน้ำมันซึ่งอยู่ในสภาพของเหลว ตามระยะเวลาการเก็บที่ยาวนานขึ้น และเมื่อได้ค่าตัวเลขที่ได้จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงแล้ว จะนำมาหาอันดับของปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร เพื่อดูว่าเป็นแบบใด จะได้สามารถคาดการณ์ระยะเวลาในการเก็บรักษาได้อย่างถูกต้อง โดยการหาอันดับของปฏิกิริยาของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อันดับของปฏิกิริยา

อันดับปฏิกิริยา หมายถึง ตัวเลขยกกำลังที่แสดงรูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นของสารที่เปลี่ยนแปลงไป หรือตัวเลขดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหารแต่ละชนิด ที่มีต่อระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยอันดับปฏิกิริยาที่พบในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีอายุการเก็บที่ยาวนานขึ้น จะแสดงออกมาในหลายรูปแบบดังนี้

1) ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order)

ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหาร มีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง กับระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่เปลี่ยนแปลงไป (เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษายาวนานขึ้น) โดยค่าดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหาร อาจจะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงก็ได้ ขึ้นกับว่าใช้ดัชนีอะไรในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์อาหาร

จากสมการที่ (3) ถ้าสมมุติว่า กำหนดให้ A เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่จะลดลงระหว่าง การเก็บรักษา และอันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์ ($n = 0$) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4) และ (5) ดังนี้

$$\pm d[A]/dt = k[A]^n \qquad (3)$$

จากสมการที่ (3) แทนค่า $n = 0$ จะได้สมการที่ (4)

$$-d[A]/dt = k[A]^0 \quad (4)$$

$$A = A_0 - kt \quad (5)$$

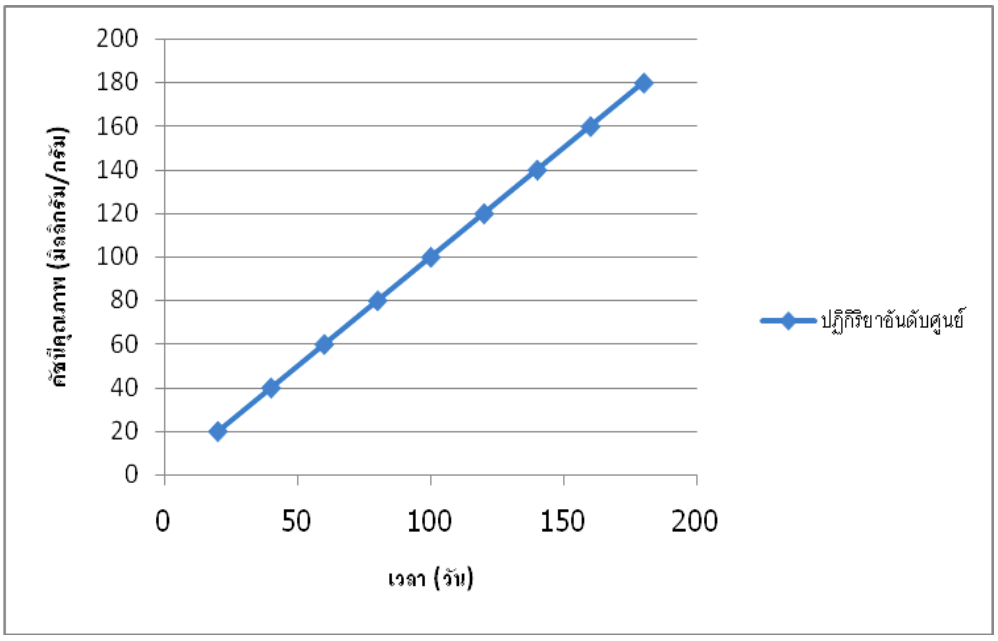
A_0 หมายถึง ดัชนีบ่งชี้คุณภาพเริ่มต้น (t = 0)

A หมายถึง ดัชนีบ่งชี้คุณภาพที่เวลา t

t หมายถึง ระยะเวลาใดๆในขณะทำการเก็บอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร

k เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ทำการศึกษา

เมื่อเขียนกราฟระหว่างปริมาณสารประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารที่เกิดการเปลี่ยนแปลง A และ ระยะเวลา t ใดๆในระหว่างการเก็บอายุผลิตภัณฑ์อาหาร จะได้กราฟดังแสดงในภาพที่ 2.4 ถ้ากราฟที่ปรากฏเป็นเส้นตรงแสดงว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของ A และอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารนี้จะเปลี่ยนแปลงอย่างคงที่ เพียงแต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของ A จะไปในทิศทาง เพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2.4 หรือ มีทิศทางที่ลดลง เช่น การสูญเสียวิตามิน การเปลี่ยนแปลงคุณภาพหรือดัชนีบ่งชี้นั้นจะมีแนวโน้มลดลงตามอายุการเก็บ



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์

2) ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order)

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหาร มีความสัมพันธ์เป็นแบบเอกโปเนนเชียล กับระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่เปลี่ยนแปลงไป (เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษายาวนานขึ้น) โดยค่าดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหาร อาจจะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงก็ได้ ขึ้นกับว่าใช้ดัชนีอะไรในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์อาหาร

จากสมการที่ (3) ถ้าสมมุติว่า กำหนดให้ A เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่จะลดลงระหว่าง การเก็บรักษา และอันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง (n = 1) จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (6) (7) (8) และ (9) ดังนี้

$$\pm d[A]/dt = k[A]^n \qquad (3)$$

จากสมการที่ (3) แทนค่า n = 1 จะได้สมการที่ (6)

$$-d[A]/dt = k[A]^1 \qquad (6)$$

$$-d[A]/[A] = kdt \qquad (7)$$

จะได้ $$\ln A/A_0 = -kt \qquad (8)$$

หรือ $$A = A_0 \exp(-kt) \qquad (9)$$

A_0 หมายถึง ดัชนีบ่งชี้คุณภาพเริ่มต้น (t = 0)

A หมายถึง ดัชนีบ่งชี้คุณภาพที่เวลา t

t หมายถึง ระยะเวลาใดๆในขณะทำการเก็บอายุของผลิตภัณฑ์อาหาร

k เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ทำการศึกษา

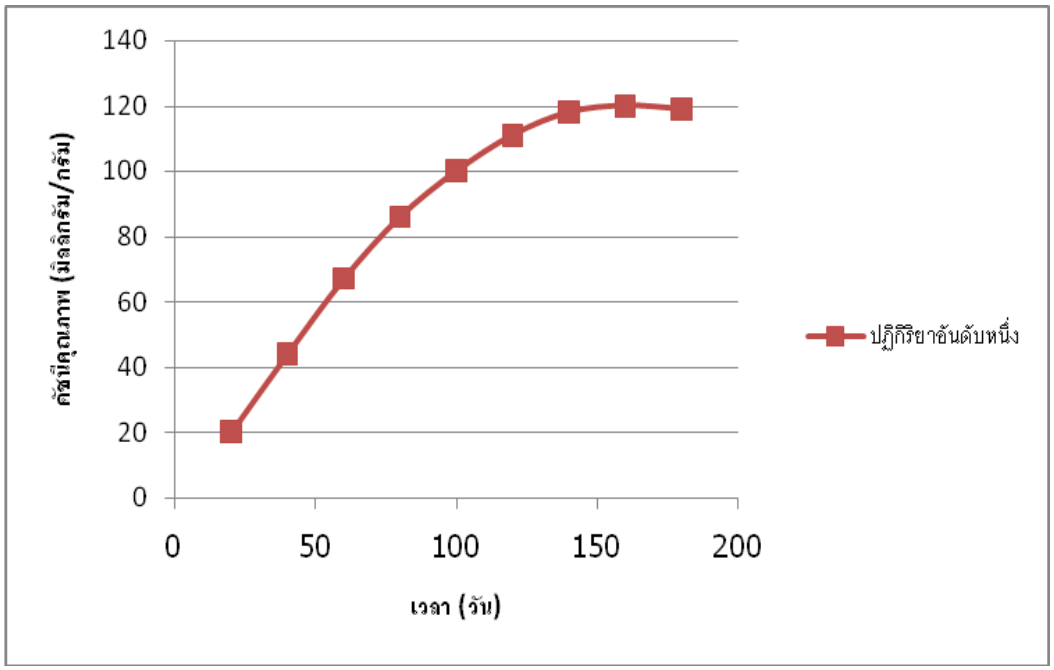
จากสมการที่ (8) ถ้าเรากำหนดให้ $A = 0.5A_0$ หมายความว่า ถ้าดัชนีบ่งชี้คุณภาพ A มีปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ ครึ่งหนึ่งของ ปริมาณดัชนีบ่งชี้คุณภาพเริ่มต้น นั่นหมายความว่าผลิตภัณฑ์จะมีอายุในการเก็บรักษาเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง จะได้ว่า

$$t_{0.5} = 0.693/k \qquad (10)$$

เราจะเรียก $t_{0.5}$ ว่า half-life ของผลิตภัณฑ์อาหาร หรือครึ่งอายุโดยประมาณของผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง ซึ่งกรณีที่ A ลดลง หรือ เพิ่มขึ้น ระหว่างการเก็บรักษา

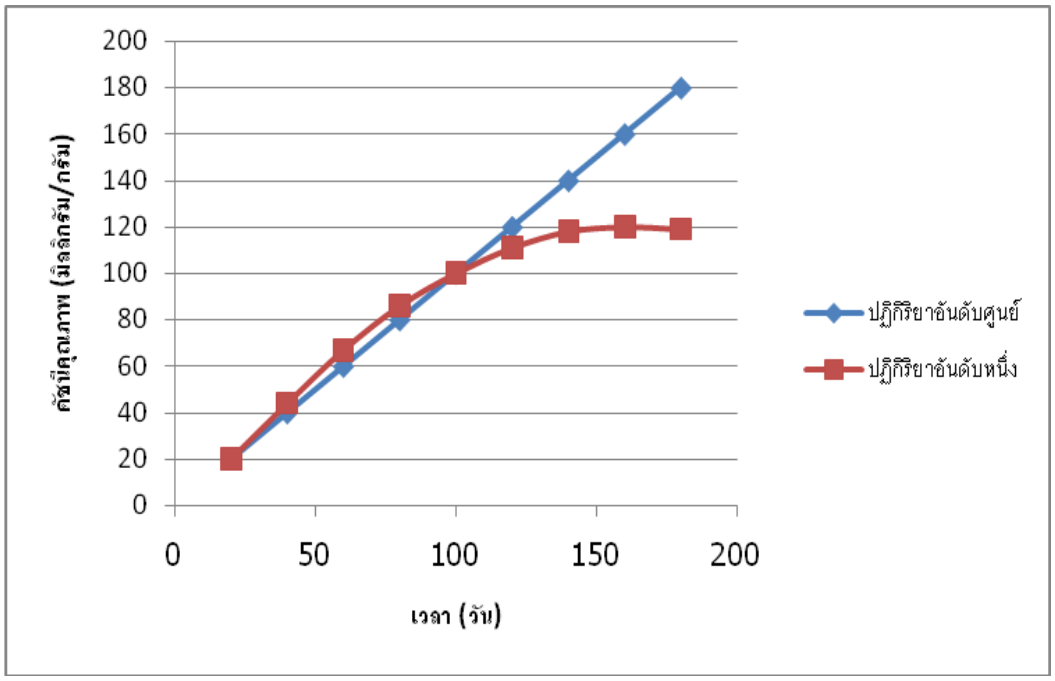
และ n มีค่าเท่ากับ 1 จะได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง A และ t เป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล และอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารขึ้นกับคุณภาพของหารขณะเวลานั้นๆ ดังนั้นอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพจะค่อยๆ ลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น แต่การเสื่อมเสียหรือการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์อาหารที่เห็นจากกราฟอาจมีแนวโน้มของกราฟเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับสิ่งที่เราทำการศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง

แต่เมื่อนำกราฟ จากภาพที่ 2.4 และ ภาพที่ 2.5 มาวางซ้อนกัน แสดง ดังภาพที่ 2.6 จะพบว่า ในครั้งแรกของการทดลองถ้าไม่เก็บจนผลิตภัณฑ์หมดอายุ จะมีโอกาสเกิดการผลิตพลาดในการประเมินอายุได้สูงมาก เนื่องจากถ้าพิจารณาจากกราฟ ภาพที่ 2.6 จะเห็นว่า ถ้าสิ่งที่เราติดตามอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์เป็นแบบ ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ กับระยะเวลาการเก็บอาจไม่ใช่ปัญหา เนื่องจาก เมื่อเราเก็บผลิตภัณฑ์ ไปเพียงครึ่งอายุของผลิตภัณฑ์ และลากเส้นตรงต่อออกไปจนผลิตภัณฑ์หมดอายุ ก็คงสามารถประเมินอายุการเก็บได้ แต่ถ้าสิ่งที่เราติดตามอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ มีความสัมพันธ์เป็นแบบ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง กับระยะเวลาการเก็บ เราจะไม่สามารถทำเช่นเดียวกับ ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ได้ เนื่องจาก กราฟความสัมพันธ์แบบ ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง จะไม่ได้เป็นเส้นตรง ไม่สามารถลากเส้นได้ ดังนั้น ในการเก็บอายุผลิตภัณฑ์ใหม่ควรเก็บเต็มอายุก่อนในครั้งแรก จากกราฟจะเห็นว่า เมื่อผลิตภัณฑ์ มีอายุครึ่งหนึ่ง เส้นกราฟของ

อันดับปฏิกิริยาทั้งสองแบบ เหมือนจะทับกัน แต่เมื่อเลยจาก ประมาณครึ่งหนึ่งของอายุ จะพบว่าอันดับปฏิกิริยาทั้งสองแบบ จะมีค่าที่แตกต่างกันมาก



ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์ และ หนึ่ง ตามลำดับ

โดยปกติแล้วในขั้นตอนแรก ต้องทำการนำค่าดัชนีที่เป็นผลที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมเสียที่ได้ จากการทดลองไปหาความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษา ด้วยการพลอตกราฟ เพื่อพิจารณาว่าเป็นอันดับปฏิกิริยาแบบ 0 หรือ 1 ก่อนที่จะนำไปคำนวณอายุการเก็บต่อไป

สำหรับการคำนวณหาระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยพิจารณาจากรูปแบบความสัมพันธ์ ระหว่าง ค่าดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมสำหรับอาหารชนิดนั้นๆ กับระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น (ตามระยะเวลาการเก็บอายุจริงของผลิตภัณฑ์) จะสามารถทำให้ทราบอายุการเก็บจริงได้ เมื่อทราบอันดับปฏิกิริยาของความสัมพันธ์

2.4.2.3 การเร่งอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหาร

ในปัจจุบัน ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร ไม่ว่าจะเป็นอาหารคน หรืออาหารสัตว์ ไม่เว้นแต่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ทางเคมี ที่มีอายุการเก็บรักษาปรากฏอยู่บนบรรจุภัณฑ์ จะต้องมีการศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ แต่ผู้ผลิตคงไม่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์จนครบอายุการเก็บได้ เนื่องจากต้องปล่อยสินค้าออกจำหน่ายให้เร็วที่สุด ดังนั้นผู้ผลิตสินค้าเหล่านี้ จะมีเทคนิคอย่างไรจึงจะทราบว่าสินค้า

ของตนนั้นจะมีอายุอยู่บนชั้นวางของ (Shelf-life) จนครบอายุผลิตภัณฑ์จริงหรือไม่ เทคนิคคือ การเร่งอายุการเก็บ ในการเร่งอายุการเก็บมีหลายวิธี ดังจะแสดงต่อไป

การเร่งอายุการเก็บนี้จะเป็นการรับประกันว่าสินค้า นั้นๆ จะมีอายุวางจำหน่ายจริงเป็นเท่าไร โดยเพิ่มสภาวะความเสี่ยงให้สินค้ามีโอกาสเกิดการเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น เช่น โดยใช้อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้นกว่าสภาวะการวางจำหน่ายจริง การเร่งการเสื่อมเสียโดยการเร่งการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่สัมผัสกับตัวผลิตภัณฑ์ หรือ การเร่งการเสื่อมเสียโดยการเพิ่มปริมาณความชื้นให้สัมผัสกับตัวผลิตภัณฑ์เป็นต้น ซึ่งการเร่งการเสื่อมเสียของแต่ละผลิตภัณฑ์นั้น จะมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์รูปแบบที่แตกต่างกันไป โดยมักจะต้องมีความรู้พื้นฐานเป็นเบื้องต้นก่อนว่าผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นๆ มีโอกาสเสื่อมเสียจากสาเหตุใดได้บ้าง เช่น ขนมขบเคี้ยว อาจเสียได้เนื่องจากความหืน หรือกรอบน้อยลง เมื่ออายุการเก็บเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเร่งอายุการเก็บ อาจเลือกใช้วิธีการเพิ่มอุณหภูมิ หรือความชื้นในการเร่งการเก็บ หรือถ้ามั่นใจว่า บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สามารถกันความชื้นได้ดี การอาจเลือกใช้วิธีการเร่งอายุการเก็บ เป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้เก็บเพียงอย่างเดียว เนื่องจากอาจมีผลต่อการเร่งการหืนของผลิตภัณฑ์ได้ เพราะส่วนใหญ่ขนมขบเคี้ยวมักผ่านการทอดหรือมีส่วนประกอบที่มีไขมัน หรือ น้ำมันเป็นองค์ประกอบ หรือ อีกตัวอย่างหนึ่ง คือ สินค้าประเภทน้ำมันพืช ซึ่งเราทราบดีอยู่แล้วว่าน้ำมันมีโอกาสเสื่อมเสียเนื่องจากการหืนได้มาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมันพืช ได้กรดไขมันอิสสระ ดังนั้นการเร่งการเสื่อมน้ำมันพืชได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ การเติมอากาศเพื่อให้โครงสร้างของน้ำมันพืชเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วขึ้น

หัวใจสำคัญของการเร่งอายุการเก็บคือ เมื่อทำการเร่งอายุการเก็บแล้ว และได้มีการติดตามดัชนีบางตัวที่สามารถบ่งบอกการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้อง จะนำค่าที่ได้นั้นมาเทียบกลับกับอายุการเก็บในชั้นวางของเพื่อรอการจำหน่ายได้ จึงทำให้ทราบได้ว่า สินค้าที่ผลิต ในชุดนั้นๆ ที่ส่งจำหน่ายไปแล้วนั้น มีความผิดปกติหรือไม่ จะมีอายุยาวนานถึงวันหมดอายุที่กำหนดบนบรรจุภัณฑ์ หรือไม่ ต้องเรียกคืนสินค้าก่อนหมดอายุนานเท่าไร เป็นต้น

การศึกษาการเร่งอายุการเก็บ โดยใช้อุณหภูมิเป็นตัวเร่ง เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากง่ายในการปฏิบัติ ต้นทุนในการศึกษาต่ำกว่าวิธีอื่น ทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ และค่าวัสดุที่ใช้ การเร่งการเก็บอายุผลิตภัณฑ์นิยมใช้ Temperature Quotient หรือ Q_{10} ซึ่งเป็นตัวแปรที่ใช้แสดงผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของค่าดัชนีที่ใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลง สำหรับอาหารชนิดนั้นๆ กรณีอุณหภูมิที่ใช้เร่งอายุการเก็บรักษาแตกต่างจากอุณหภูมิปกติที่ใช้ในการเก็บรักษาอาหารประเภทนั้นๆ ไม่เท่ากับ 10 องศาเซลเซียส จะหา Q_{10} ได้จากสมการที่ (13) แต่เมื่ออุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส ดังแสดงในสมการที่ (14)

$$[Q_{10}]^{\Delta T/10} = k_{T2}/k_{T1} \qquad (13)$$

$$Q_{10} = (k_{T1+10})/k_{T1} \quad (14)$$

สมการที่ (13) และ (14) ตัวแปรต่างๆมีความหมายดังนี้

k_{T1} เป็นค่าความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ณ ที่อุณหภูมิที่ T_1

k_{T2} เป็นค่าความชันของกราฟการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา ณ ที่อุณหภูมิที่ T_2

ΔT เป็นผลต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา 2 ระดับอุณหภูมิ (T_2- T_1)

มาตรฐานค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตอาหารในระดับอุตสาหกรรม $Q_{10} = 2$ และมาตรฐานค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่ที่ใช้ในการผลิตอาหารแบบทั่วไป $Q_{10} = 1.8$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kelly (1953) รายงานว่า การเสริมไอโอดีนลงในเกลือและการคงอยู่ของ ปริมาณไอโอดีนมีปัจจัยที่สำคัญ คือ ความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ แสงสว่าง ความร้อน สภาพภูมิอากาศ ความบริสุทธิ์ของเกลือ ความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของสารเคมีที่ใช้เสริมไอโอดีน เช่น โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) โซเดียมไอโอไดด์ (NaI) และ โพแทสเซียมไอโอเดท (KIO_3) ซึ่งการเก็บ KI และ NaI ต้องอยู่ในสภาวะที่แห้ง ไม่มีแสง และเย็น จึงจะรักษาปริมาณไอโอดีนไม่ให้สูญเสียไปได้แต่ถ้าไม่สามารถควบคุมสภาวะการเสริมไอโอดีนให้เป็นไปตามที่กำหนดได้ ควรต้องใช้ KIO_3 จึงจะมีความเหมาะสมกว่า

Ranganathan และคณะ (1997) พบว่าการผสมโพแทสเซียมไอโอเดทลงในเกลือในประเทศอินเดีย ด้วยเทคนิคการผสมแบบแห้งจะดีกว่าเทคนิคแบบเปียก และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อมที่ใช้กระบวนการผสมแบบแห้ง จะทำให้การกระจายของไอโอดีนอย่างสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียวกัน ทำได้ง่าย ไอโอดีนไม่สูญหาย สีของเกลือไม่เปลี่ยนแปลง และปริมาณไอโอดีนยังคงอยู่ตลอดอายุการศึกษา 1 ปี ในสภาพการเก็บปกติ

Thongplaw (1999) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน และความสม่ำเสมอในกระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในผู้ผลิต 53 รายใน 15 จังหวัด ระหว่าง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2540 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541 พบว่า ร้อยละ 80 ของผู้ผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในประเทศเป็นผู้ผลิตรายเล็ก ที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่า 100 ตันต่อเดือน โดยร้อยละ 90 ใช้วิธีการผสมไอโอดีนในเกลือ แบบผสม

ทีละครั้ง และร้อยละ 50 ของจำนวนนี้ ใช้วิธีการผสมในกระบะ กะละมัง และกองเกลือบนพื้น พบว่าในวิธีการผสมส่วนใหญ่ ปริมาณความชื้นและขนาดของเม็ดเกลือ ไม่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน สำหรับสัดส่วนของสารละลายไอโอดีนต่อเกลือ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในวิธีการผสม โดยใช้เครื่องผสมปูนดัดแปลงของกระทรวงสาธารณสุข เครื่องผสมปูนดัดแปลงของ วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ และการใช้กระบะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในวิธีการผสมทุกวิธี ความผิดพลาดในการเตรียมน้ำยาไอโอดีนและปริมาณสารละลายไอโอดีนที่ใช้ต่อปริมาณเกลือ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน นอกเหนือจากนี้ ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน ได้แก่ การกระจายตัวของสารละลายไอโอดีนและความเอาใจใส่ของผู้ผลิตในขั้นตอนการผลิต ค่ามัธยฐานของปริมาณไอโอดีนในทุกวิธีการเสริมน้อยกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน และร้อยละ 20 ของตัวอย่างเกลือในหลายวิธีการเสริม มีปริมาณไอโอดีนน้อยกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน สำหรับความสม่ำเสมอของไอโอดีนโดยใช้ค่า %CV พบว่า ทุกวิธีมีความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนสูง ปัจจัยในเรื่องวิธีการผสม เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของไอโอดีนในเกลือ โดยในโรงงาน ที่มีกำลังผลิตขนาดใหญ่ 1 แห่ง และในวิธีการเสริมแบบกะละมัง การกระจายตัวของไอโอดีนใน เกลือมีความสม่ำเสมอดี (%CV ต่ำ)

รังสรรค์ (2541) ได้ทำการทดสอบความคงตัวของสารไอโอดีนในเกลือ พบว่าปริมาณสารไอโอดีนในเกลือในสภาวะการเก็บที่แตกต่างกัน เช่น สภาวะอุณหภูมิปกติ 25 °C หรืออุณหภูมิห้อง 37 °C ตลอดจนการเก็บโดยให้สัมผัสแสงและไม่ให้สัมผัสแสง ไม่มีความแตกต่างกันตลอดทุกช่วงระยะเวลาการทดลอง 6 เดือน อย่างไรก็ตามเมื่อทำการวิเคราะห์โดยละเอียดโดยการตัดปัจจัยร่วมออกไปแล้ว และพิจารณาเฉพาะปัจจัยเดี่ยว พบว่าปริมาณสารไอโอดีนในเกลือที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างตามระยะเวลาที่เก็บ กล่าวคือ ปริมาณสารไอโอดีนจะลดน้อยลงตามระยะเวลาที่ผ่านไปและลดน้อยลงหลังจากที่เก็บไว้นานกว่า 3 เดือน ส่วนปริมาณสารไอโอดีนในเกลือที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างตามระยะเวลาที่เก็บ และจากการทดลองพบว่าไม่ว่าจะเกลือจะสัมผัสแสงหรือไม่สัมผัสแสงก็ตาม ปริมาณสารไอโอดีนที่เสริมในเกลือก็ไม่มีความแตกต่างกันตามระยะเวลาที่ทดสอบ อย่างไรก็ตามยังมีแนวโน้มว่าปริมาณของสารไอโอดีนจะลดต่ำลงบ้างเล็กน้อยตามระยะเวลาที่ผ่านไปในกลุ่มของเกลือที่ถูกแสง

ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Goindi (1995) ที่รายงานว่า การให้ความร้อนสูงๆ เช่น การหุงต้มทำให้ปริมาณไอโอดีนจะสูญเสียไปถึง ร้อยละ 6-37 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการให้ความร้อนด้วยแล้ว นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ ปทุม และคณะ (2537) รายงานว่า แสงไม่มีผลกระทบต่อปริมาณสารไอดีนในน้ำปลา

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

3.1อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 เกลือสินเธาว์ป่น(อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธ์ประเทศไทย)

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 โพแตสเซียมไอโอเดต(Merck, Germany)

3.1.2.2 ไอ-รีเอเจนต์(สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดลประเทศไทย)

3.1.3 เครื่องมือ

3.1.3.1 โพแตสเซียมไอโอเดต(Merck, Germany)

3.1.3.2 เครื่องชั่ง (4 ตำแหน่ง) (Sartorius TE 214, Germany)

3.1.3.3 เครื่องชั่ง (2ตำแหน่ง)(Metter Toledo PE 3000, Switzerland)

3.1.3.4 เครื่องผสมสารละลาย(Vortex genie 2 G-560E, U.S.A)

3.1.3.5 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ShimadzuUV-1601, Japan)

3.1.3.6 ฟลาสก์ขนาด250 มิลลิลิตร

3.1.3.7 ปิเปตขนาด1 มิลลิลิตร

3.1.3.8 หลอดทดลอง100 มิลลิลิตร

3.1.3.9 ช้อนตักสาร

3.1.3.10 ถุงใสโพลีเอธิลีน(Poly ethylene, PE) ขนาด 4นิ้ว x 7 นิ้ว (ไทยแพ็คพลาสติก, ประเทศไทย)

3.1.3.11เครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยหัวหยด(ต้นแบบ) (คณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ,ประเทศไทย) ดังภาพที่ 3.1

ก ข

ภาพที่ 3.1 เครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่

หมายเหตุ ภาพ ก เป็นตำแหน่งเก็บตัวอย่างในถังผสมที่มุมมองด้านบน และภาพ ข เป็นตำแหน่งเก็บตัวอย่างในถังผสมที่มุมมองด้านข้าง

3.1.4 สถานที่ดำเนินงาน

คณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.2วิธีการดำเนินงาน

3.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วย การหยด (ต้นแบบ)

เครื่องมือที่ใช้ในการผสมเกลือป่นและสารละลายไอโอดีน เป็นเครื่องผสมริบบอนสองชั้น และใช้การหยดสารละลายไอโอดีนลงในเครื่องขณะผสม โดยการทดลองนี้กำหนดสภาวะในการผสมดังนี้ อุณหภูมิ 3 ระดับ (50, 60และ 70องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม 3 ระดับ (25, 35 และ 45 เฮริตซ์) และ เวลาในการผสม 4 ระดับ (4, 8, 12 และ 16นาที)

3.2.1.1การเตรียมตัวอย่าง

การผสมเกลือป่นและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต ใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือ 40 กิโลกรัม และสารละลาย โพแตสเซียม โอเดต 280.75 มิลลิลิตรให้ได้เกลือบริโภคที่มีความเข้มข้นของไอโอดีน 40 พีพีเอ็ม (ppm, มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ตามสภาวะต่างๆ ตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้ จากนั้นเก็บตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนดในตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องผสมจำนวน 5 ตำแหน่ง (ภาพที่ 3.2) ตำแหน่งละ 100 กรัม นำตัวอย่างบรรจุใส่ถุงโพลีเอธิลีนปิดผนึกด้วยเครื่องปิด

ผนึก เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนำไปวิเคราะห์วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนภายใน 1 สัปดาห์ โดยทำการทดลอง2 ซ้ำ

ก ข

ภาพที่ 3.2ตำแหน่งเก็บตัวอย่างของเครื่องผสมจำนวน 5 ตำแหน่ง

หมายเหตุ ภาพ ก เป็นตำแหน่งเก็บตัวอย่างในถังผสมที่มุมมองด้านบน และภาพ ข เป็นตำแหน่งเก็บตัวอย่างในถังผสมที่มุมมองด้านข้าง

3.2.1.2การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

การวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนโดยการผสมน้ำยาสำเร็จรูป I-Reagent กับเกลือ ถ้าเกลือมีไอโอดีนผสมอยู่โดยชั่งตัวอย่างเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน 10 กรัม ใส่ลงในขวดแก้วรูปชมพู่ (ระวังไม่ให้เกลือค้างอยู่ด้านข้างขวด) แล้วตวงน้ำกลั่นใส่กระบอกตวง ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมลงในขวดแก้วรูปชมพู่ที่มีตัวอย่างเกลือเขย่าให้เกลือละลายวัดปริมาตรของสารละลายเกลือตัวอย่าง จากนั้นปิเปตสารละลายเกลือตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองเติมI-Reagent3 มิลลิลิตร ปิดฝาเขย่าให้เข้ากันตั้งไว้อย่างน้อย 5 นาที (หลังจากหยดน้ำยา I-Reagent จะเกิดสีน้ำเงินซึ่งการเกิดสีดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างไอโอดีนและสารละลายแป้งโดยโมเลกุลของไอโอดีนจะสอดแทรกเข้าไปในเกลียวของสารละลายแป้งและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีคือเกิดเป็นสีน้ำเงินไปจนถึงสีม่วงและสีน้ำตาลตามสัดส่วนของสารและรูปทรงของแป้งกล่าวคือจากปฏิกิริยาระหว่างไอโอเดทในเกลือกับน้ำยาวิเคราะห์ทำให้ได้สารละลายที่มีสีน้ำเงินโดยความเข้มของสีที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไอโอเดทในช่วง 0-100 พีพีเอ็มวัดได้โดย เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร โดยมีหน่วยเป็นพีพีเอ็ม (กองควบคุมอาหารสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ,2554)จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาปริมาณไอโอดีนโดยใช้กราฟมาตรฐานของสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต

3.2.1.3วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องผสม

นำผลการทดสอบปริมาณไอโอดีนของเกลือแต่ละตำแหน่งของเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยการหยด (ต้นแบบ) มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และร้อยละสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (%CV) เพื่อ

ศึกษาการกระจายตัวของสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต(ปริมาณไอโอดีน)ในเกลือที่ผ่านการผสมในช่วงระยะเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดคือทุกตำแหน่งควรมีปริมาณไอโอดีนใกล้เคียงกับปริมาณไอโอดีนที่คำนวณไว้ที่ 40 พีพีเอ็ม เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (% CV)

3.2.2 ศึกษาผลของอายุและสภาวะการเก็บที่มีผลต่อคุณภาพความเข้มข้นของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน

3.2.2.1การเตรียมตัวอย่าง เกลือเสริมไอโอดีน เตรียม ผสมเกลือป่นและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเกลือ 40 กิโลกรัม และสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต 280.75 มิลลิลิตรให้ได้เกลือบริโภคที่มีความเข้มข้นของไอโอดีน 40 พีพีเอ็ม ตามสภาวะที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 3.2.1จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุใส่ถุงโพลีเอธิลีน ขนาด 4นิ้วx7 นิ้ว ปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึกถุงละ 10 กรัมเก็บรักษาที่ตัวอย่างภายใต้สภาวะที่กำหนด ได้แก่ อุณหภูมิที่ต้องการศึกษา 3 ระดับ(50,60และ 70 องศาเซลเซียส) เพื่อเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิห้อง (32-35 °C) โดยจัดวางในลักษณะเปิดและปิดปากถุง

3.2.2.2ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน เดือนที่ 0 (ตรวจทันที) และทุกๆ 2 สัปดาห์ รวม 12ระยะเวลา (เป็นเวลา 6 เดือน) ตามวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน ด้วยน้ำยาสำเร็จรูป I-Reagent ดังใน 3.2.1.2

3.2.2.3วิเคราะห์อายุการเก็บ

นำผลการทดสอบปริมาณไอโอดีน ในแต่ละสภาวะการเก็บตลอดระยะเวลา 6เดือน มาวิเคราะห์ค่าความชันของกราฟข้อมูลปริมาณไอโอดีนเพื่อศึกษาปริมาณไอโอดีนที่ยังคงเหลืออยู่ในเกลือเสริมไอโอดีนที่ผ่านการจัดเก็บที่อุณหภูมิ 3ระดับ(50,60 และ 70 องศาเซลเซียส) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง ในสภาพที่เปิดและปิดถุง และศึกษา จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Kinetics of Reaction)ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร ซึ่ง เป็นการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยวัดจากคุณภาพด้วยปริมาณไอโอดีนเริ่มต้นที่ลดลงต่อเวลา จากนั้นนำจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยามาใช้อธิบายอัตราการเสื่อมคุณภาพของอาหาร

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภค

จากการศึกษาการกระจายตัวในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนของเครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนคู่ต้นแบบ โดยการเติมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงไปในเกลือป่นด้วยวิธีการหยด และวิเคราะห์การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือป่นโดยกำหนดปัจจัยในการศึกษาคือ อุณหภูมิ (50,60และ 70 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม (25, 35 และ 45เฮิร์ตซ์) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม (4, 8, 12 และ16 นาที) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเกลือในตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 ตำแหน่งของถังผสม พบว่าจากการผสมเกลือที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์เป็นช่วงอุณหภูมิในการผสมที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปรที่เหมาะสม (ช่วงอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส แทรกในภาคผนวก ง) พบว่าปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งและเวลาในการผสมต่างๆ ด้วยเครื่องต้นแบบในการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบวิธีการหยด แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งและเวลาต่างๆในการผสมที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์

เวลาในการผสม (นาที)	ซ้ำ	ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งของถังผสม (พีพีเอ็ม)					เฉลี่ย (พีพีเอ็ม)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร
		1	2	3	4	5			
4	1	39.8	43.6	40.1	40.8	35.8	40.020	2.797	6.988
	2	40.5	38.7	43.1	39.2	42.1	40.720	1.871	4.596
8	1	36.8	35.4	36.4	39.5	39.0	37.420	1.756	4.692
	2	39.3	40.0	38.8	38.4	38.2	38.940	0.727	1.866
12	1	38.5	39.0	38.6	38.5	38.5	38.620	0.217	0.561
	2	40.6	39.6	40.5	39.7	39.1	39.900	0.636	1.595
16	1	38.0	38.4	37.3	37.5	38.8	38.000	0.620	1.633
	2	40.2	41.1	41.5	38.9	39.4	40.220	1.099	2.732

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 พบว่าที่เวลาในการผสม 4 นาที ปริมาณไอโอดีนที่วัดได้ในตำแหน่งต่างๆ ของถังผสมทั้ง 5 ตำแหน่งอยู่ระหว่าง 35.8-43.6 และ 38.7-40.5 พีพีเอ็ม ในซ้ำที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของทั้ง 2 ซ้ำ เท่ากับ 1.871 และ 2.797 พีพีเอ็มซึ่งมีค่าต่ำมาก แสดงให้เห็นว่าปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องผสมมีค่าใกล้เคียงกัน และมีร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปรเพียง 4.596 และ 6.988 จึงบ่งถึงความสม่ำเสมอของไอโอดีนในเกลือในกระบวนการผลิต แสดงว่าเครื่องผสมต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงในการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอดีนได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกสภาวะการผสมภายในเวลา 4 นาที และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการผสมพบว่า การกระจายตัวของไอโอดีนดีขึ้น และมีปริมาณไอโอดีนในตำแหน่งต่างๆ ของถังผสมใกล้เคียงกันมากขึ้น เมื่อพิจารณาจาก ร้อยละ สัมประสิทธิ์ของการผันแปรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า เมื่อเวลาในการผสมเพิ่มขึ้น ร้อยละสัมประสิทธิ์ของการผันแปรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าแนวโน้มที่ลดลง โดยที่เวลาการผสมตั้งแต่ 12 นาทีขึ้นไปทำให้ร้อยละสัมประสิทธิ์ของการผันแปรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.561-2.732 และ 0.217-1.099 ตามลำดับ

เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผสมด้วยการใช้ความเร็วรอบ 25, 35 และ 45 เฮิร์ตซ์ อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แล้วสุ่มตัวอย่างวัดปริมาณไอโอดีนในช่วงเวลาที่กำหนดทุกๆ 4 นาที ในตำแหน่งต่างๆของถังผสมทั้ง 5 ตำแหน่ง ทั้ง 2 ซ้ำได้ผลปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยทั้งหมดของของเกลือเสริมไอโอดีนอยู่ที่ 38.283 พีพีเอ็ม เพื่อใช้หาสภาวะการผสมที่เหมาะสมจากตารางวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนในแต่ละตำแหน่งของเครื่องผสมด้วยวิธี Duncan ทำให้ได้สภาวะการผสมที่มีปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากโดยอยู่ระหว่าง 37.282-39.6451พีพีเอ็ม มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.753- 1.018 พีพีเอ็มและร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปรระหว่าง 1.9571-2.569 จะเห็นได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผสมด้วยการหยดมีอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 60 องศาเซลเซียส , ความเร็ว 25 เฮิร์ตซ์ และเวลาในการผสม 12 นาที เนื่องจากร้อยละสัมประสิทธิ์ของการผันแปรและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าต่ำมากที่สุด อีกทั้งยังใช้เวลาในการผสมน้อยกว่า 16 นาที ที่สภาวะการผสมอุณหภูมิและความเร็วเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมแบบหัวฉีดสเปรย์พบว่าเครื่องผสมด้วยการหยดใช้เวลาและอุณหภูมิที่สูงกว่าการผสมแบบหัวฉีดสเปรย์ที่มีประสิทธิภาพการผสมสารละลายโ พแตสเซียมไอโอเดตกับเกลือให้มีการกระจายตัวของไอโอดีนได้ทั่วถึงที่อุณหภูมิห้อง ภายในระยะเวลา 6 นาที (รัชดา, 2555) อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตแบบหัวฉีดสเปรย์ได้ดีกว่าการผสมด้วยการหยดที่สารละลายถูกปล่อยลงสู่เกลือแบบเฉพาะจุด อย่างไรก็ตามการผสมด้วยหัวฉีดสเปรย์อาจเกิดการตันได้ง่ายกว่าหัวหยด

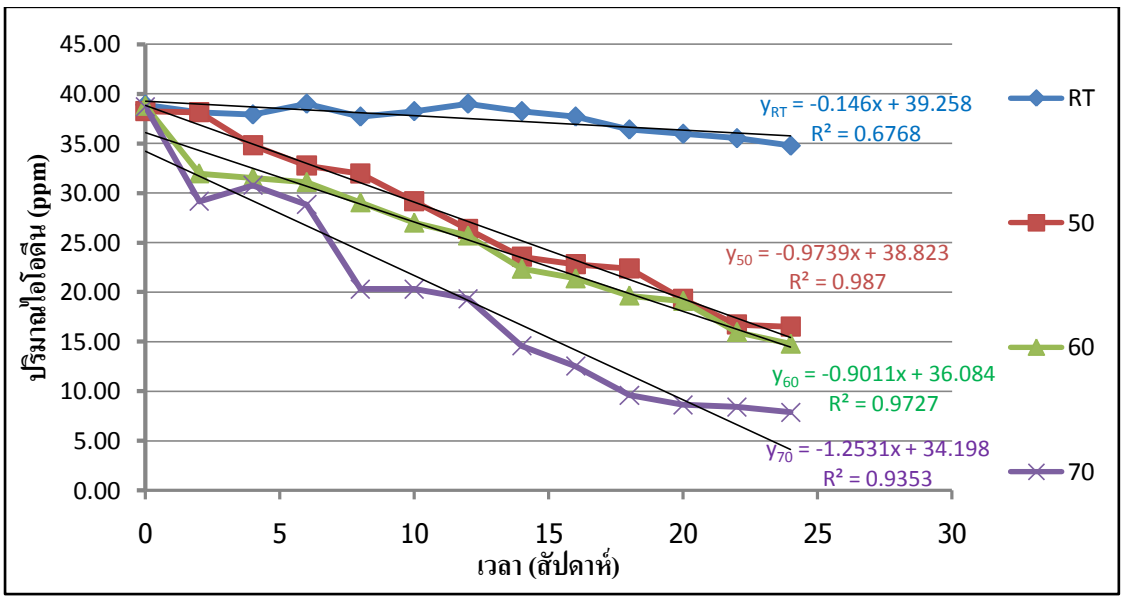
ตารางที่ 4.2 สภาวะการผสมแสดงอุณหภูมิ ความเร็วรอบ และเวลาที่ใช้ในการผสมที่มีปริมาณ

ไอโอดีนในเกลือใกล้เคียงกับปริมาณไอโอดีนเฉลี่ย

อุณหภูมิการผสม (°c)	*ความเร็วในการผสม (Hz)*	*เวลาในการผสม (นาที)*	*เฉลี่ย (พีพีเอ็ม)*	*ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน*	*ร้อยละสัมประสิทธิ์ความผันแปร*
50	25	12	37.3019	0.816	2.187
50	25	16	37.2824	0.896	2.403
50	45	8	37.817	0.825	2.180
60	25	12	38.5089	0.753	1.957
60	25	16	38.1261	0.760	1.994
70	25	12	39.231	0.875	2.231
70	45	12	39.6451	1.018	2.569

4.2ผลการศึกษาความคงตัวของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนระหว่างการเก็บโดยผสมเกลือป่นให้ได้เกลือบริโภคที่มีความเข้มข้นของไอโอดีน 40 พีพีเอ็ม บรรจุใส่ถุงโพลีเอธิลีนเก็บรักษาที่ตัวอย่างภายใต้สภาวะอุณหภูมิ3 ระดับโดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง, การเปิด -ปิดถุงเก็บและเวลาจัดเก็บ 12 ระยะเวลา (6 เดือน)ทั้งนี้คุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่ กำหนดปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภค เป็นไม่น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม และไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค 1 กิโลกรัม (40 พีพีเอ็ม, ppm) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา,2554)

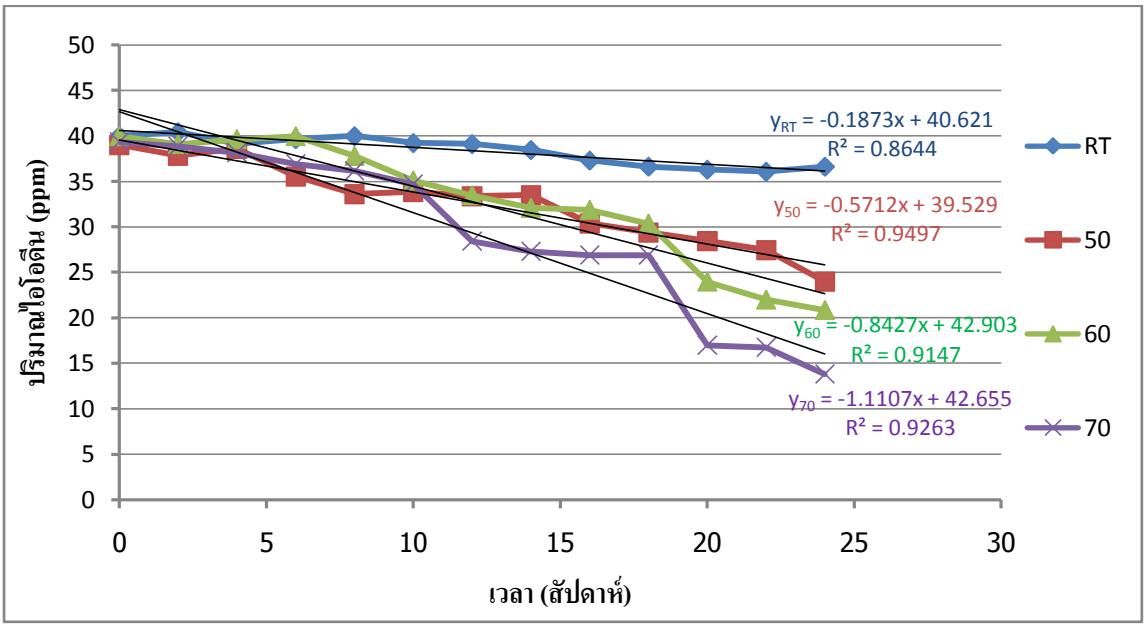


ภาพที่ 4.1 ผลของปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุง ภายในระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน

หมายเหตุRT, 50, 60 และ70หมายถึง สภาวะการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิห้อง , 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าความชันจากกราฟของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบเปิดถุงในภาพที่ 4.1 พบว่า ที่อุณหภูมิ ในการเก็บรักษา มากขึ้นมีผลให้ปริมาณไอโอดีนลดลง (ค่าความชันที่ติดลบมาก หมายถึงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนมากในลักษณะที่ลดลง) ซึ่งเป็นแนวโน้มการลดลง แบบมีความชันที่อุณหภูมิต่างกันมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยที่อุณหภูมิห้อง, 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียสมีความชันมีความชัน -0.146, -0.9739, -0.9011 และ -1.2531 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาค่าความชันจากกราฟของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบปิดถุงในภาพที่ 4.2 พบว่า ที่อุณหภูมิมากขึ้นมีผลให้ปริมาณไอโอดีนลดลง (ค่าความชันที่ติดลบมาก หมายถึงมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนมากในลักษณะที่ลดลง) ซึ่งเป็นแนวโน้มการลดลงแบบมีความชันที่อุณหภูมิต่างกันมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนต่างกันโดยที่อุณหภูมิห้อง, 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียสมีความชันมีความชัน -0.1873, -0.5712, -0.8427 และ -1.1107 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 ผลของปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนที่เก็บที่อุณหภูมิต่างๆ แบบปิดถุง ภายในระยะเวลาการเก็บ 6 เดือน

หมายเหตุ RT, 50, 60 และ 70 หมายถึง สภาวะการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิห้อง , 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ซึ่งผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบ เปิดถุงและแบบปิดถุงที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goindi(1995) ที่รายงานว่า การให้ความร้อนสูงๆทำให้ปริมาณไอโอดีนจะสูญเสียไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ให้กับเกลือเสริมไอโอดีนเช่นกัน และจากผลการทดลองที่ได้ยังสอดคล้องกับการทดลองของ รังสรรค์ (2541)ซึ่งพบว่า ปริมาณสารไอโอดีนในเกลือที่เก็บไว้ จะมีความแตกต่างตามระยะเวลาที่เก็บ ซึ่งจะลดน้อยลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป

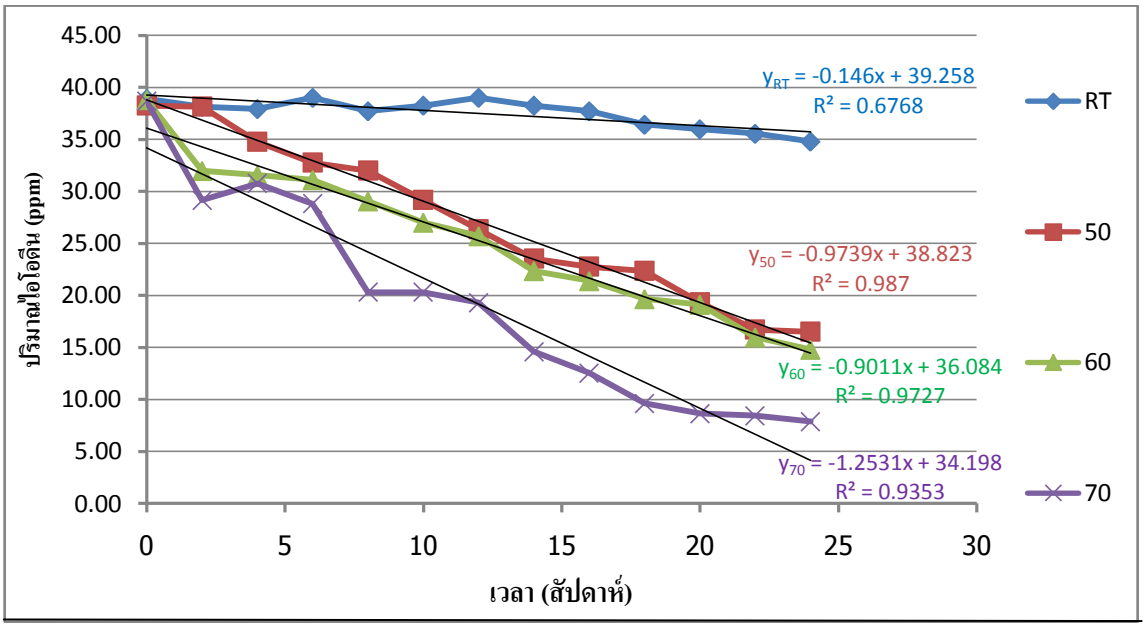
เมื่อพิจารณาค่าความชันจากกราฟของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนแบบเปิดถุงและแบบปิดถุง พบว่า ความชันที่อุณหภูมิระดับเดียวกัน วิธีการเก็บรักษาแบบเปิดถุงมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนสูงกว่าแบบปิด

คือ ที่อุณหภูมิ50 องศาเซลเซียสแบบเปิดมีความชัน0.9739 ซึ่งมากกว่าแบบปิดถุงความชัน0.5712

ที่อุณหภูมิ60 องศาเซลเซียส แบบเปิดมีความชัน0.9011ซึ่งมากกว่า แบบปิดถุงความชัน0.8427 และ ที่อุณหภูมิ70 องศาเซลเซียสแบบเปิดมีความชัน1.2531 ซึ่งมากกว่า แบบปิดถุงความชัน1.1107 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไอโอดีนที่อยู่ในเกลือเสริมไอโอดีนมีการสูญหายระหว่างการเก็บด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการเปิดถุงเกลือมีโอกาสทำให้เกลือได้รับความร้อนโดยตรงมากกว่าแบบปิดถุง

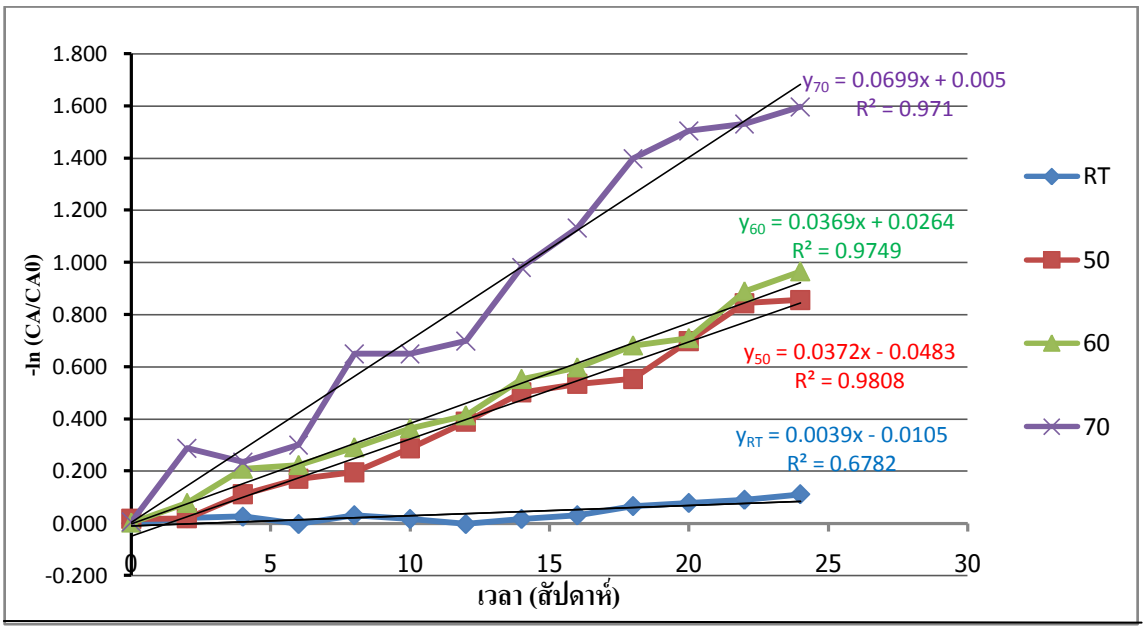
4.3ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Kinetics of Reaction) ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน

จากการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีนที่ผลิตขึ้นจากเครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนคู่ต้นแบบ โดยวัดจากปริมาณไอโอดีนที่ลดลงที่อุณหภูมิเร่งระดับต่างๆ (อุณหภูมิห้อง, 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียส)



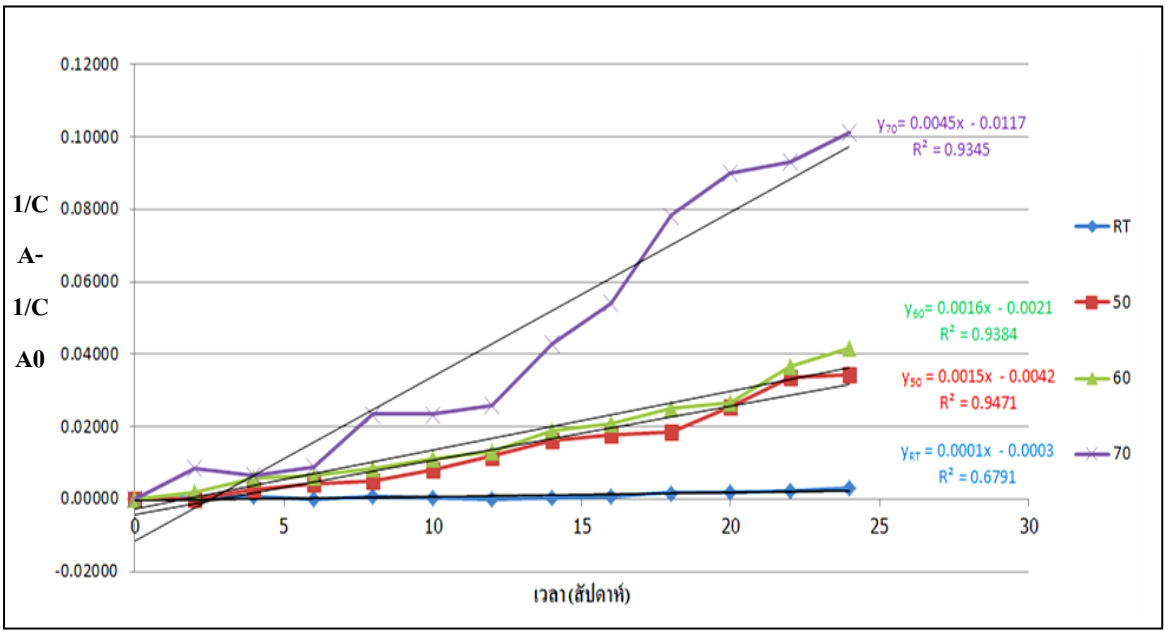
ภาพที่ 4.3การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุงเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์

หมายเหตุ RT, 50, 60 และ 70 หมายถึง สภาวะการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิห้อง , 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุงเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง

หมายเหตุ RT, 50, 60 และ 70 หมายถึง สภาวะการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิห้อง , 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

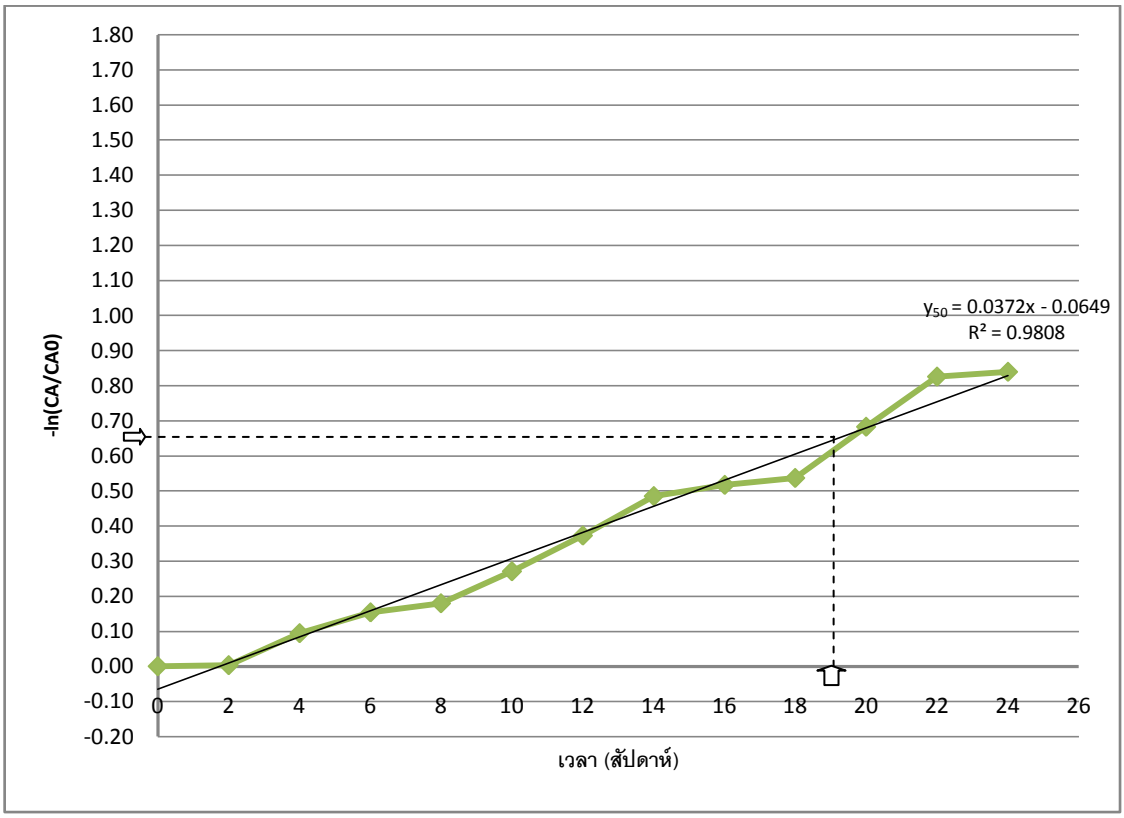


ภาพที่ 4.5การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนเมื่อเก็บที่สภาวะอุณหภูมิต่างๆ แบบเปิดถุงเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับสอง

หมายเหตุ RT, 50, 60 และ 70 หมายถึง สภาวะการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิห้อง ,50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จาก การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีนที่ เทียบกับเวลาที่อันดับปฏิกิริยาต่างๆ ดัง ภาพที่ 4.3-4.5พบว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่าความสัมพันธ์r^2มากที่สุดเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับ สองยกเว้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสค่า r^2 ที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง มีค่าใกล้เคียงกับปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ซึ่งสามารถใช้แทนกันได้ โดยที่ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีค่า $r^2$0.9749 ,ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่า r^2 0.9808, ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีค่า r^2 0.9749 ขณะที่ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสมีค่า r^2 0.9870 , ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสมีค่า r^2 0.9727, ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีค่า r^2 0.9353 จากนั้นนำอันดับปฏิกิริยาที่เลือกได้คือ ที่อุณหภูมิ 50 , 60 และ 70 องศาเซลเซียส คือ อันดับปฏิกิริยาที่หนึ่ง มาศึกษาหาอายุการเก็บที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่างๆต่อไป

เนื่องจากประกาศกระทรวงสาธารณสุข กำหนดปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคให้มีค่าไม่น้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค 1 กิโลกรัม (40 พีพีเอ็ม, ppm) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา,2554)ในการทดลองนี้จึงกำหนดวันหมดอายุไว้ที่เกลือเสริมไอโอดีนมีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 20 พีพีเอ็ม (C_A) ทำให้สามารถหาอายุการเก็บที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่างๆได้ดังนี้ (ใช้สภาวะการเก็บเกลือแบบเปิด เนื่องจากเป็นสภาวะที่มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียปริมาณไอโอดีนมากที่สุด)



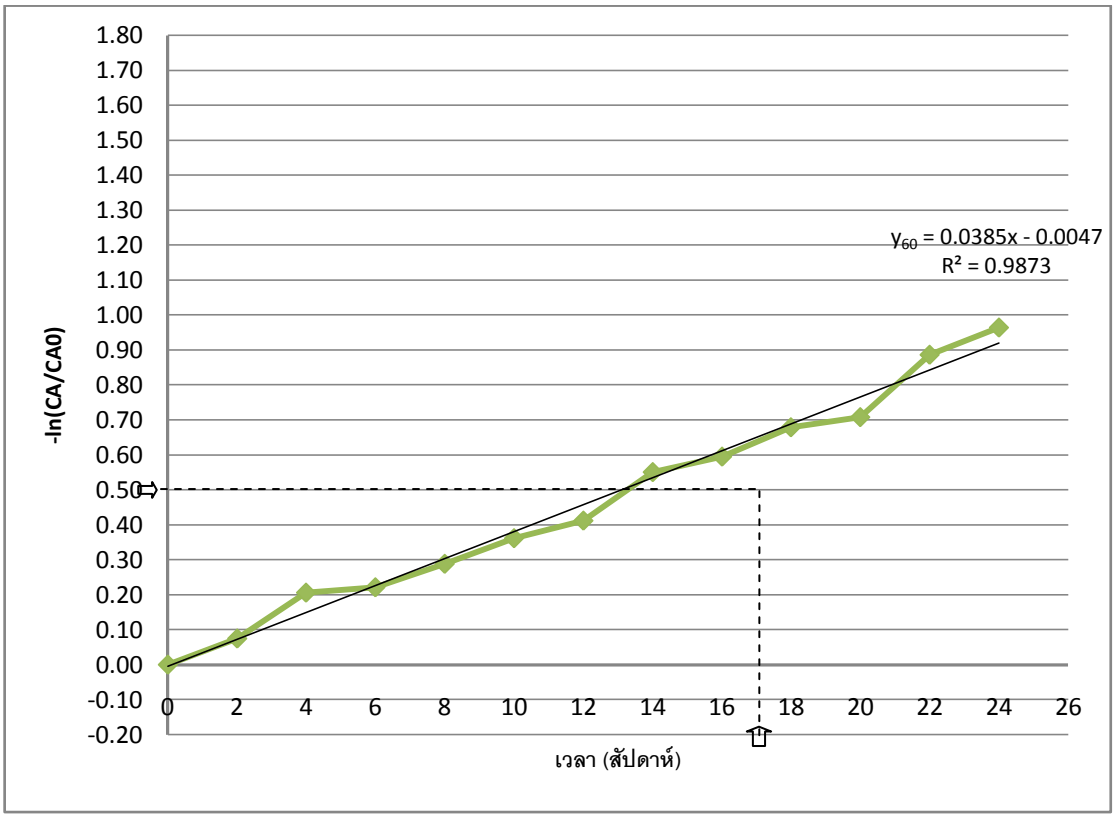
ภาพที่ 4.6การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง

ที่อุณหภูมิเร่งเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส (มีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น (C_{AO}) 38.25 พีพีเอ็ม) จะได้ว่า

$$-\ln (C_A/C_{AO}) = -\ln(20/ 38.25)$$

$$= 0.6484$$

ดังนั้นจะพบว่าในภาพที่ 4.6แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ หนึ่ง ในแกน Y ที่มีค่าเท่ากับ0.6484 เกลือเสริมไอโอดีนจะมีอายุการเก็บเท่ากับ 19สัปดาห์



ภาพที่ 4.7การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง

ที่อุณหภูมิเร่งเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส (มีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น 38.79 พีพีเอ็ม) จะได้ว่า

$$-\ln (C_A/C_{AO}) = -\ln(20/ 38.79)$$

$$= 0.662$$

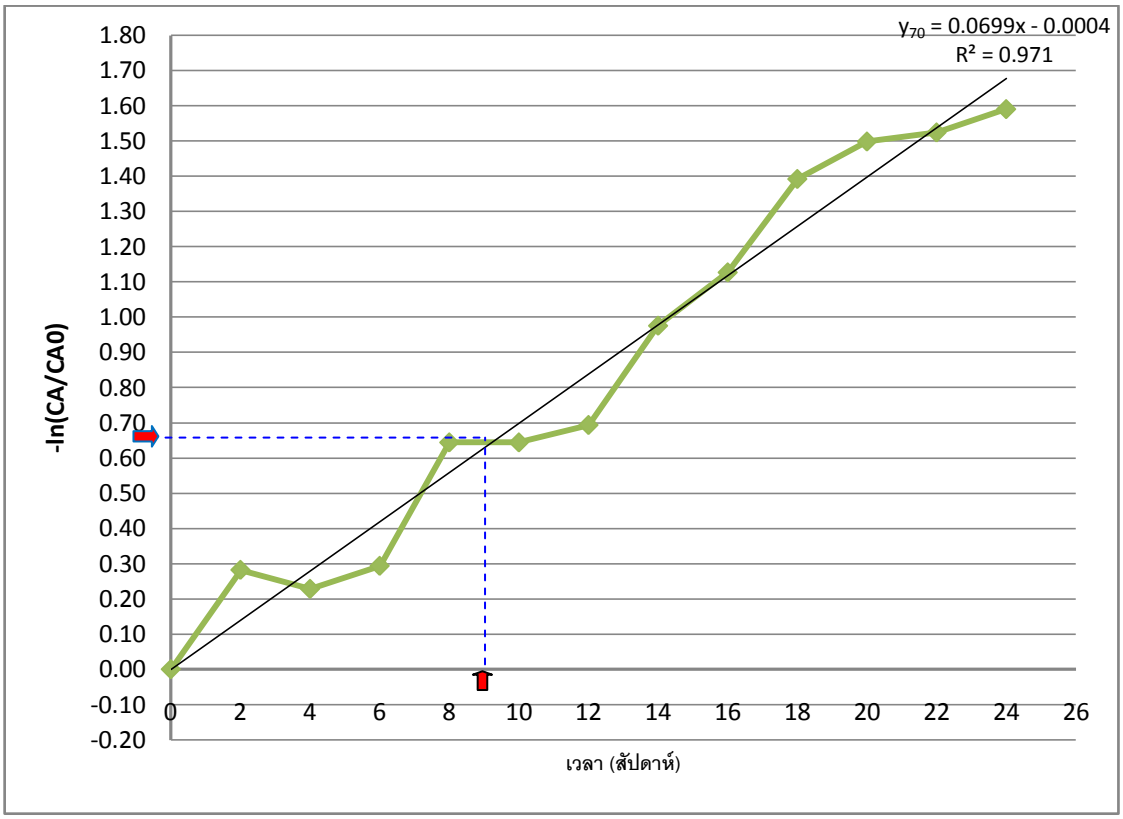
ดังนั้นจะพบว่าในภาพที่ 4.7แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ หนึ่ง ในแกน Y ที่มีค่าเท่ากับ 0.662 เกลือเสริมไอโอดีนจะมีอายุการเก็บเท่ากับ 17สัปดาห์

ที่อุณหภูมิเร่งเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส (มีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น 38.68พีพีเอ็ม) จะได้ว่า

$$-\ln (C_A/C_{AO}) = -\ln(20/ 38.68)$$

$$= 0.660$$

ดังนั้นจะพบว่าในภาพที่ 4.8แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเทียบกับเวลา เมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ หนึ่ง ในแกน Y ที่มีค่าเท่ากับ 0.660 เกลือเสริมไอโอดีนจะมีอายุการเก็บเท่ากับ 9สัปดาห์



ภาพที่ 4.8แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน ณ อุณหภูมิ 70องศาเซลเซียสเทียบกับเวลาเมื่ออันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง

เนื่องจากเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในปัจจุบันมีอายุการเก็บ 5 ปี (เทียบจากยี่ห้อที่มียอดจำหน่ายสูงสุดในท้องตลาด) ซึ่ง เปรียบ เทียบเป็นวันเท่ากับ 1,825 วัน (อายุการเก็บรักษาจริงที่อุณหภูมิห้อง) และเมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการเร่งอายุการเก็บมาเทียบกับอายุจริงจะสรุปได้ว่า

ที่อุณหภูมิเร่ง 50 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 19 สัปดาห์ (133วัน)

ที่อุณหภูมิเร่ง 60 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 17สัปดาห์ (119วัน)

ที่อุณหภูมิเร่ง 70 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 9 สัปดาห์ (72 วัน)

จะเทียบเท่ากับอายุการเก็บรักษาจริงที่ 5 ปี (1,825 วัน) ที่อุณหภูมิห้อง

ดังนั้นผู้ผลิตเกลือเสริมไอโอดีนที่ต้องการติดตามอายุการเก็บรักษาภายหลังการจำหน่ายเกลือเสริมไอโอดีนแล้ว สามารถเร่งอายุการเก็บเพื่อให้มีผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่ตกค้างในโรงงานน้อยลงได้ โดย เช่น ถ้าเก็บที่อุณหภูมิเร่ง 70 องศาเซลเซียส และพบว่าปริมาณไอโอดีนที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้เก็บ ยังคงมีปริมาณไอโอดีนไม่ต่ำกว่า 20 พีพีเอ็ม ที่ระยะเวลา 9 สัปดาห์ แสดงว่า ผลิตภัณฑ์ชุดนี้ที่ส่งออกไปจำหน่ายแล้วนั้นเชื่อถือได้ว่าจะมีอายุการเก็บรักษาเท่ากับ 5 ปี แต่ถ้าเมื่อครบกำหนดอายุที่ 9 สัปดาห์พบว่าปริมาณไอโอดีนต่ำกว่า 20 พีพีเอ็ม ผู้ผลิตต้องทำการ

แก้ไขปัญหา เช่น การเรียกคืนสินค้าก่อนหมดอายุจริงและทำการติดตามสืบย้อนกลับเพื่อให้ได้ข้อมูลการผลิต แล้วหาแนวทางป้องกันแก้ไขต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนใน เกลือบริโภค เครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนที่คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ผลิตขึ้นเป็นต้นแบบ พบว่า เครื่องมีประสิทธิภาพในการผสมให้ไอโดดีนมีการกระจายตัวในถังผสมอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกตำแหน่งของถังผสม สภาวะในการผสมสารละลายไอโอดีนกับเกลือ มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือ โดยการเพิ่มระยะเวลาในการผสมจะทำให้ไอโอดีนกระจายตัวในเกลือได้ดีขึ้น สำหรับการเพิ่มอุณหภูมิในการผสมยังทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือดีขึ้น และสภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารละลายไอโอดีนและเกลือ คือ ที่อุณหภูมิ 60 ความเร็วรอบ 25 เฮิร์ตซ์ โดยเครื่องผสมต้นแบบนี้มีความสามารถในการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอดีนสูงได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกสภาวะการผสมภายในเวลา 12 นาที

จาก การศึกษาความคงตัวของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบเปิดถุงมีค่าความชัน ในแต่ละสภาวะการเก็บแต่ละอุณหภูมิที่ต่างกันมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยที่อุณหภูมิห้อง , 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีความชัน -0.146, -0.9739, -0.9011 และ -1.2531 ตามลำดับ นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาค่าความชันจากกราฟของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบปิดถุง พบว่า ที่อุณหภูมิมากขึ้นมีผลให้ปริมาณไอโอดีนลดลงแบบมี ความชันที่อุณหภูมิต่างกันมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนต่างกัน โดยที่อุณหภูมิห้อง , 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียสมีความชัน-0.1873, -0.5712, -0.8427 และ -1.1107 ตามลำดับ และ เมื่อพิจารณาค่าความชันจากกราฟของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบเปิดถุงและแบบปิดถุง พบว่า ความชันที่อุณหภูมิระดับเดียวกัน วิธีการเก็บรักษาอุณหภูมิ 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียสแบบเปิดถุง (-0.9739, -0.9011 และ -1.2531 ตามลำดับ) มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนสูงกว่าแบบปิด (-0.5712, -0.8427 และ -1.1107 ตามลำดับ)

จากการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีนที่ผลิตขึ้นจากเครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนคู่ต้นแบบ โดยวัดจากปริมาณไอโอดีนที่ลดลงที่อุณหภูมิเร่งระดับต่างๆ (อุณหภูมิห้อง , 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียส)โดยจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน ของเกลือเสริมไอโอดีนที่ เทียบกับเวลาที่อันดับปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิ60 และ 70 องศาเซลเซียสปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่าความสัมพันธ์ r^2มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบ

กับปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับ หนึ่ง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสค่า r^2 ที่ปฏิกริยาอันดับหนึ่ง มีค่าใกล้เคียงกับปฏิกริยาอันดับศูนย์

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข กำหนดปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภค ให้มีค่า ไม่น้อยกว่า 20 พีพีเอ็ม(สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา,2554)ดังนั้นจึงสามารถหาอายุการเก็บที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สภาวะการเก็บเกลือแบบเปิด ถุงใสโพลีเอทิลีนพบว่า ที่อุณหภูมิเร่ง 50 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 19 สัปดาห์ (133 วัน), ที่อุณหภูมิเร่ง 60 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 17 สัปดาห์ (119วัน), ที่อุณหภูมิเร่ง 70 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 9 สัปดาห์ (72 วัน) เปรียบเทียบเกลือป่นเสริมไอโอดีนในปัจจุบันมีอายุการเก็บ 5 ปี จะเทียบกับอายุการเก็บรักษาจริงที่ 5 ปี (1,825 วัน) ที่อุณหภูมิห้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สำหรับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพแตสเซียมที่เหมาะสมที่จะทำให้ปริมาณไอโอดีนเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดคือ อยู่ระหว่าง 20-40 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค1 กิโลกรัม ควรมีการศึกษาการสูญหายระหว่างการละลาย ระหว่างการผสม เพื่อจะได้กำหนดความเข้มข้นของสารละลายให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดต่อไป

5.2.2 เนื่องจากปัจจุบันมีการจัดจำหน่าย และจัดเก็บเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในภาชนะบรรจุหลายรูปแบบ และขนาดบรรจุภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป จึงควรทำการศึกษาการ ความคงตัวของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา ในภาชนะบรรจุอื่นๆด้วย เช่น ใส่ขวดพลาสติก และใส่ขวดแก้ว เป็นต้น รวมถึงการจัดเก็บในบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดต่างๆกันด้วย

5.2.3 ควรมีการประชาสัมพันธ์หรือให้ความรู้แก่ประชาชนถึงวิธีการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนในการเกลือบริโภคเพื่อนำมาซึ่งเกลือที่มีคุณภาพตามค่ามาตรฐานตาม ประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนด

บรรณานุกรม

กรมอนามัย. 2532. รายงานการเฝ้าระวังโรคขาดสารไอโอดีน.เข้าถึงได้จาก http://blog.school.net.th/blogs/prasitporn.php/2013/01/28/-360. (23 กันยายน 2556).

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ . 2552. ไอโอดีน . สาระน่ารู้เกี่ยวกับอาหาร.เข้าถึงได้จาก http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/VARITY/IODINE.HTM(18กันยายน 2554).

กองโภชนาการ . 2541. การศึกษาปริมาณสารไอโอดีนในอาหาร . กรมอนามัย . เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/newpage42.htm**.** (15 มิถุนายน 2556).

กิตติ ลาภสมบัติศิริ. 2551. คุณภาพการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในประเทศไทย. กองโภชนาการ กรมอนามัย. บทวิทยาการส่งเสริมให้คนไทยสุขภาพดี.

คณะกรรมการจัดทำข้อกำหนดสารอาหารที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย. 2546. บทความเรื่องปริมาณสารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ. 2546. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข . ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 ตุลาคม 2546. เข้าถึงได้จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/dri/1.pdf.(15 สิงหาคม 2555).

คณิณญา พรนริศ. 2536. โภชนาศาสตร์พื้นฐาน. สถาบันราชภัฏเลย, เลย.

จิตร จิรรัตน์สถิต. 2527. ปรึกษาแพทย์เรื่องคอพอก. โรงพิมพ์ปอง, เชียงใหม่.

จุฑามาศเฉลิมผล . 2540. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประชากรความเชื่อด้านสุขภาพและพฤติกรรมการดูแลเด็กวัยเรียนของมาดาเพื่อป้องกันโรคขาดสารไอโอดีน . วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาการพยาบาลแม่และเด็กบัณฑิตวิทยาลัย , มหาวิทยาลัยมหิดล.

นฤมลฉัตรสง่า,มาริษาภู่ภิญโญกุลและสุรชัยจิวเจริญสกุล. 2555. การผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนตามวิถีชาวบ้านให้ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เกลือบริโภค กรณีศึกษาอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน.การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50.สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสตร์ : หน้า 25-33, กรุงเทพฯ.

นันทยา จงใจเทศ, ปิยนันท์ อึ้งทรงธรรมและนางภัทธิรา ยิ่งเลิศรัตนะกุล.2554. ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเกลือเป็นส่วนประกอบ . วารสารสำนักโภชนาการ . Fact Sheet 1(2) :หน้า 1-4.

นิพัทธาชาติสุวรรณและวริพัสย์อารีกุล .2553. รายงานการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ประมวล ศรีกาหลง. 2556. การประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร. เอกสารประกอบการสอนการประเมินอายุการเก็บรักษาอาหาร.คณะอุตสาหกรรมเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

พนัส พฤกษ์สุนันท์ และนิศา รวมธรรม. 2545. การพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพเกลือเสริมไอโอดีนในภาคกลางของประเทศไทย. บทความการส่งเสราสุขภาพและสิ่งแวดล้อมประเทศไทย. 1(4) :หน้า 95-107.

พีชรัช ประสิทธิ์ผล.2553. เกลือบำบัดโรคจากมหาสมุทรแห่งความเค็ม. สำนักพิพม์แบงค์คอกบุ๊คส์, กรุงเทพฯ.

ภิญโญ พานิชพันธ์ และพิณทิพ รื่นวงษา.2542.การประกันและควบคุมคุณภาพเกลือเสริมไอโอดีนโดยชุดตรวจภาคสนามเกลือ (-Kit). ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ.

มันทนา ประทีปะเสน. 2530. แร่ธาตุไอโอดีนกับระบบการทำงานของร่างกาย. โภชนาการก้าวหน้า. สถาบันวิจัยโภชนาการและคณะแพทย์ศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี . ห้างหุ้นส่วนจำกัดเทคนิค 19, กรุงเทพฯ .หน้า 122-126.

วิชัย เทียนถาวร . 2532. ผลกระทบที่มีต่อสุขภาพจากการขาดสารไอโอดีน. รายงานการประชุมวิชาการโภชนาการ 32 เรื่อง ก้าวไปกับโภชนาการเพื่อสุขภาพ. มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.หน้า 89-96.

รังสรรค์ ตั้งตรงจิตร. 2541. ผลกระทบของภาวการณ์เก็บต่อความคงตัวของสารไอโอดีนในเกลือน้ำปลา และน้ำดื่มที่เสริมด้วยไอโอดีน

รัชดา พวงจันทน์แดง.2555. ประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยหัวฉีดสเปรย์และแนวทางการควบคุมคุณภาพสำหรับผู้ประกอบการ . คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

รัชตะรัชตะนาวิน . 2537. คนไทยทุกภาคยังขาดสารไอโอดีน . เข้าถึงได้จาก http://www.mannger.co.th/ Science/ViewNews.aspx?NewsID=9480000149858. (15 สิงหาคม 2556).

วิสิฐ จะวะสิต. 2541. การศึกษาวิจัยด้านการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพเกลือเสริมไอดีนในประเทศไทย.

วิภา วีรวัฒน์นภากุล และสุภาพ สุจริตกุล . 2535. ระบบต่อมไร้ท่อในสรีรวิทยา .คณาจารย์ภาควิชาสรีรวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล . พิมพ์ครั้งที่ 4 .ฤทธิศรีการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2537. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 153 เรื่องเกลือบริโภค. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา,กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา . 2553. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องเกลือบริโภค . กรุงเทพฯ. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา . 2554. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่องเกลือบริโภค . กรุงเทพฯ. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2554. คู่มือการตรวจวิเคราะห์เพื่อเฝ้าระวังปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภค. หน่วยเคลื่อนที่เพื่อความปลอดภัยด้านอาหาร. ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1. เข้าถึงได้จากhttp://www.foodsafetymobile.org/category/F1565147.pdf.(27 มีนาคม2556).

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2541. โภชนาศาสตร์เบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

แสงโสม สีนะวัฒน์ . 2544. โรคขาดไอโอดีนในประเทศไทย . เอกสารเผยแพร่สถานการณ์สุขภาพและสิ่งแวดล้อม. กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. เข้าถึงได้จาก http://www.Anamai.moph.go.th/factsheet/nutri-4.htm. (30 มีนาคม 2551).

โสภิณ บำเพ็ญทรัพย์ .2546. ปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคที่ผลิตและจำหน่ายในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ .มข 2546: 31. หน้า20-24

Goindi, G., Kapil U. and Jagannathan J. 1995.Estimation of losses of iodine during different cooking procedures.Asia Pacific J. ClinNutr.4 :225-227.

Ranganathan S., Sundaresan S., RaghavendraI. and Kalyani S. 1997. Dry mixing technique for the large scale production of iodine fortified salt in India. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition. 6(2) : 92-94.

Thongplaw C. 1999. Salt iodization in Thailand and factors affecting quality of iodized salt. M.Sc.Thesis in food and nutrition for development. Faculty of graduate studies. Mahidoluniversity.

ภาคผนวก ก

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บ

ภาคผนวก ก
ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บ

ตารางที่ ก 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ

เวลา (สัปดาห์)	**ปริมาณไอโอดีนของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน(พีพีเอ็ม)**							
	แบบเปิดถุง				แบบปิดถุง			
	RT	50°C	60°C	70°C	RT	50°C	60°C	70°C
0	38.89	38.25	38.79	38.68	39.98	39	39.98	39.33
2	38.14	38.14	35.98	29.17	40.41	37.81	39.11	38.89
4	37.92	34.79	31.55	30.79	39.11	38.57	39.65	38.14
6	39.00	32.79	31.11	28.84	39.65	35.54	39.98	36.95
8	37.71	31.98	29.06	20.31	39.98	33.6	37.8	36.14
10	38.25	29.17	27.01	20.31	39.22	33.82	35.11	34.68
12	39.00	26.36	25.71	19.33	39.11	33.38	33.49	28.41
14	38.25	23.55	22.36	14.58	38.46	33.49	32.09	27.33
16	37.71	22.79	21.39	12.53	37.3	30.36	31.87	26.9
18	36.41	22.36	19.66	9.61	36.63	29.38	30.36	26.9
20	35.98	19.33	19.12	8.64	36.3	28.41	23.98	17.01
22	35.54	16.74	15.98	8.42	36.08	27.44	22	16.74
24	34.79	16.52	14.8	7.88	36.63	23.98	20.85	13.82

หมายเหตุ RT, 50, 60 และ 70 หมายถึง สภาวะการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิห้อง , 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ

ภาคผนวก ข
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ

ข1. หลักการหาปริมาณไอโอดีน (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา,2554)

หลักการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีไตเตรชัน หรือการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอรีดเดอร์ (I-Reader) และไอคิท (I-Kit) นั้นมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนดังนี้

ปฏิกิริยาขั้นแรก: เป็นการทำให้ไอโอดีนในเกลืออยู่ในรูปของไอโอดีนอิสระ (free iodine) โดยการเติมกรดซัลฟูริกเพื่อทำให้ไอโอดีนในเกลืออยู่ในรูปของไอโอดีนอิสระและเติม KI เพื่อช่วยให้ไอโอดีนอิสระละลายน้ำได้ดีขึ้นทั้งนี้มีข้อควรระวังคือ สภาวะต้องเป็นกรดและ KI ต้องมากพอ

$$IO^{3-} + 6H^{+} \longrightarrow I^{-} + 3H_2O \quad (1)$$

(Iodized salt) (H2SO4) (Iodide)

$$I^{-} + 5I^{-} \longrightarrow 3\,I_2 + 3H_2O \quad (2)$$

(Iodide) (from KI) (Iodine)

จากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ไอโอเดต (IO^{3-}) จากเกลือเสริมไอโอดีน (ที่เติมในรูปโพแตสเซียมไอโอเดต) จะถูกรีดิวซ์เป็นไอโอไดด์ (I^{-}) ในสภาวะที่เติมกรดซัลฟูริก จากนั้นไอโอไดด์ที่ได้จากปฏิกิริยาที่ (1) 1ตัวจะทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์จากสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ 5 ตัว ดังนั้นในปฏิกิริยาขั้นแรกจะเกิดอย่างสมบูรณ์นั้นจำเป็นต้องอยู่ในสภาวะเป็นกรดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ที่เข้มข้น

ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 :การหาปริมาณไอโอดีน

- **การใช้เครื่องไอรีดเดอร์ (I-Reader) และไอคิท (I-Kit)**

เป็นการเติมน้ำแป้งเพื่อให้เกิดการฟอร์มสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินระหว่างไอโอดีน (I_2)กับแป้ง (starch) (ดังสมการ)

$$I_2 + \text{น้ำแป้ง} \longrightarrow \text{Starch – Iodine Complex}$$

(ไอโอดีน) สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน

ปริมาณไอโอดีนจะแปรผันตามความเข้มของสีน้ำเงิน กล่าวคือ ถ้าปริมาณไอโอดีนน้อยจะเกิดสีน้ำเงินอ่อน และถ้าปริมาณไอโอดีนมากจะเกิดสีน้ำเงินเข้ม จนอาจมองเห็นเป็นสีดำ ซึ่งมีจุดยุติสารละลายใสไม่มีสี

- **วิธีไตเตรชั่น (Titration)**

เป็นวิธีการที่เติมน้ำแป้งเพื่อให้เกิดการฟอร์มสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินเช่นเดียวกัน แต่จะไตเตรทสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเพื่อเปลี่ยนไอโอดีน (I_2) ให้อยู่ในรูปไอโอไดด์ (I^-) ดังสมการ ซึ่งเป็นรูปที่ไม่สามารถฟอร์มสารประกอบเชิงซ้อนกับแป้งได้อีก สารละลายสีน้ำเงินจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสารละลายไม่มีสี

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$$

(ไอโอดีน) (Sodium thiosulfate) (Sodium iodide) (Sodiumtetrathionate)

ข2. การสุ่มตัวอย่างเกลือ

ข 2.1 ตัวอย่างเกลือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีน แบ่งเป็น

2.1.1 ตัวอย่างเกลือจากกระบวนการผลิต

การเก็บตัวอย่างจากกระบวนการผลิต ควรเก็บตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 100 กรัม ในแต่ละจุดบรรจุในถุงพลาสติก และปิดผนึก จากนั้นจดบันทึกข้อมูลรายละเอียดของตัวอย่าง วันเดือนปีล็อตที่ผลิต และผู้เก็บตัวอย่าง ดังที่ได้ระบุไว้ในการควบคุมคุณภาพของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน

2.1.2 ผลิตภัณฑ์เกลือบริโภคเสริมไอโอดีน

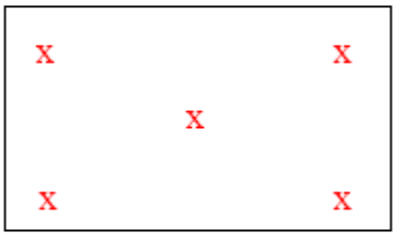
การสุ่มเก็บตัวอย่างควรเก็บตัวอย่างตามจำนวนที่แผนการสุ่มตัวอย่างมาตรฐานที่ระบุไว้ดังที่ได้ระบุไว้ในตามแผนการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ทั้งนี้ตัวอย่างเกลือที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องเก็บไว้ในที่แห้ง มิดชิด และไม่สัมผัส จนกว่าจะทำการทดสอบ และควรทดสอบให้เสร็จภายใน 1-2 วัน

ตัวอย่างแต่ละตัวอย่างจะต้องทำการแยกวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน ไม่สามารถนำมารวมกัน เนื่องจากเป็นการควบคุมกระบวนการผลิต (ประสิทธิภาพการผสม) และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละล็อต

ข 2.2 การสุ่มตัวอย่างเกลือ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.2.1 เทตัวอย่างเกลือลงในถาด จากนั้นใช้อุปกรณ์ เช่น ช้อน คลุกเคล้าเกลืออีกครั้งหนึ่ง แล้วเกลี่ยเกลือให้เป็นชั้นบางๆ สม่ำเสมอกันบนถาด

2.2.2 ใช้ช้อนสุ่มตักเกลือตามตำแหน่งต่างๆ ใส่ลงในถาดใหม่ ดังภาพ โดยการตักเกลือแต่ละจุด ต้องให้ได้ปริมาณเกลือมากกว่าปริมาณที่จะใช้ในการวิเคราะห์



2.2.3 คลุกเคล้าเกลือในถาดใหม่อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นสุ่มตักตัวอย่างตามปริมาณที่จะใช้ในแต่ละวิธีการวิเคราะห์ดังนี้

- ตัวอย่างเกลือ 0.1 กรัม ตามวิธีการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบไอโอเดทหรือวิธีไอรีดเดอร์
- ตัวอย่างเกลือ 10 กรัม ตามวิธีการไตเตรชัน

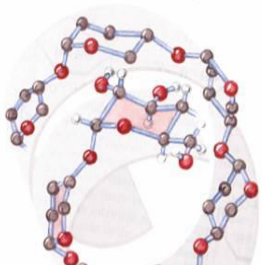
หมายเหตุ ตัวอย่างเกลืออาจมีความเข้มข้นของไอโอดีนที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงผสมเกลือของแต่ละตัวอย่างอีก 2 ครั้ง เพื่อให้ตัวอย่างที่ใช้เป็นตัวแทนที่ดีในการวิเคราะห์นั้นทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยชุดทดสอบไอโอเดท หรือวิธีไอรีดเดอร์ ใช้ตัวอย่างปริมาณเพียง 0.1 กรัม ซึ่งหากการกระจายตัวของไอโอดีนไม่ดี หรือไม่สม่ำเสมอ จะทำให้ค่าที่อ่านได้มีความผิดผลาดสูงและไม่เป็นค่าที่แท้จริงของตัวอย่างนั้นๆ

ตัวอย่างเกลือที่จากกระบวนการผลิต หากบรรจุในถุงขนาดใหญ่ หรือภาชนะที่สามารถเขย่าให้เกิดการผสมได้ ไม่จำเป็นต้องเทตัวอย่างลงบนถาด ตามข้อ 1)

ข 3 การใช้น้ำยารีเอเจนต์ (I-Reagent)ในการตรวจหาไอโอดีนในเกลือ

3.1 น้ำยาสำเร็จรูปสำหรับวัดปริมาณไอโอดีนในเกลือ (I-Reagent) ใช้ได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนามเป็นน้ำยาสำเร็จรูปขวดเดียว สำหรับใช้วัดปริมาณไอโอเดทในเกลือในขั้นตอนเดียว สามารถใช้ได้ทั้งในห้อง ห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ทำให้ควบคุมคุณภาพของเกลือได้สะดวกและกว้างขวางขึ้น ทั้งจากฝ่ายสาธารณสุขจังหวัดเองและจากโรงเรียนในท้องถิ่น

หลักการที่ใช้วัดปริมาณไอโอดีนในเกลือซึ่งไอโอดีนที่ใช้เสริมในเกลืออยู่ในรูปของไอโอเดทในวิธีการนี้จะใช้น้ำยาสำเร็จรูปผสมกับเกลือเพียงขั้นตอนเดียวถ้าเกลือมีไอโอดีนก็จะมีสีน้ำเงิน



ภาพ ข1การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีจากโมเลกุลของไอโอดีนแทรกเข้าไปในสารละลายแป้ง

การที่เกิดสีเพราะโมเลกุลของไอโอดีน จะสอดแทรกเข้าไปในเกลียวของสารละลายแป้งเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีสี จากสีน้ำเงินไปจนเป็นสีม่วงและสีน้ำตาลตามสัดส่วนของสารและรูปทรงของแป้ง

ภาพ ข2ตัวอย่างสารละลายสีน้ำเงินจากการตรวจสอบปริมาณไอโอดีน

สีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างไอโอเดทในเกลือกับน้ำยาได้สารละลายสีน้ำเงินที่มีความเข้มของสีเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอโอเดทในช่วง 0-100 พีพีเอ็มไอโอดีน ซึ่งความเข้มของสีน้ำเงินจะวัดได้โดยใช้ spectrophotometer หรือ colorimeter ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรน้ำยาสำเร็จรูป I-Reagent นี้ เป็นน้ำยาที่มีองค์ประกอบที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้

3.2 I-Reagent มีความแม่นยำสูง

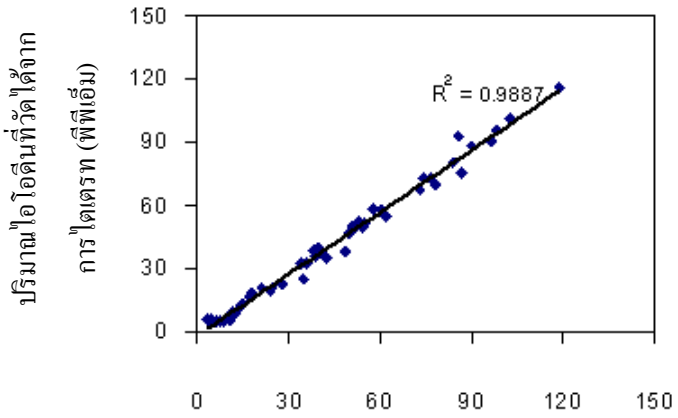
วิธีการวัดปริมาณไอโอเดทในเกลือเสริมไอโอดีนโดยใช้ I-Reagent นี้มีความแม่นยำสูงในระดับ 3-100 พีพีเอ็มไอโอดีน ดังที่ดูได้จากค่า % coefficient of variation ที่นอกจากจะมีค่าไม่เกิน 10 แล้ว ยังมีค่าค่อนข้างต่ำกล่าวคือการวิเคราะห์ที่ 3 พีพีเอ็มไอโอดีนมีค่า % CV ประมาณ 3.5 ขณะที่การวิเคราะห์ที่ช่วงสูง 10-100 พีพีเอ็มไอโอดีน มีค่า % CV ประมาณ 0.43-1.7

ตารางที่ ข1ตารางแสดงความแม่นยำของการวัดโดยใช้ I-Reagent

ปริมาณไอโอดีน (พีพีเอ็ม)	ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ย (n = 10) (พีพีเอ็ม)	SD	% CV
2	1.77	0.234	3.09
3	2.77	0.093	3.35
5	4.49	0.08	1.72
10	9.04	0.159	1.76
20	30.71	0.458	1.49
50	50.9	0.637	1.25
80	79.46	0.71	0.89
100	99.37	0.435	0.43

3.2 I-Reagent ใช้แทนไตเตรชั่น

วิธีการหาปริมาณไอโอดีนโดยใช้น้ำยาสำเร็จรูป I-Reagent สามารถใช้ทดแทนวิธีการเดิมที่ใช้กันในปัจจุบันคือ titration ซึ่งไม่สะดวกนัก และยังคงใช้เวลานานต่อหนึ่งตัวอย่างซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณไอโอเดทในตัวอย่างเกลือเสริมไอโอดีนจากโรงงานเกลือและแหล่งผลิตเกลือต่าง ๆ ได้ทันต่อเวลาซึ่งเป็นปัญหาในการควบคุมมาตรฐานของเกลือเสริมไอโอดีนทั่วประเทศให้เป็นไปตามกฎกระทรวงสาธารณสุข



ภาพ ข3กราฟเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างวิธีวัดสีและวิธีไตเตรชั่น

เมื่อเทียบกับวิธีมาตรฐานคือ titration พบว่าค่า ppm ไอโอดีนที่ได้จาก I-Reagent ได้ผลไม่ต่างไปจากวิธี titration เลย ดังจะดูได้จาก correlation coefficient มีค่าเท่ากับ 0.9887 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ทั้ง 2 วิธีการมีความสัมพันธ์กันสูงมาก

นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วย pair t-test ก็สนับสนุนผลของ correlation coefficient ว่าทั้ง 2 วิธีให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่ต่างกันและจากการใช้สถิติ kappa analysis ซึ่งได้ค่า kappa สูงถึง 0.924 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 วิธีนี้มีความสอดคล้องกันดีมากทั้งนี้น้ำยามีรีเอเจนต์อายุการใช้งานประมาณ 1 ปี หากซื้อในปริมาณมาก ควรเก็บในที่เย็น หลีกเลี่ยงการถูกแสงแดด

3.3 ประโยชน์ของI-Reagent

ทำให้ทราบประมาณไอโอเดทที่ควรใส่เพื่อให้เกลือมีไอโอดีน 30 ppm ไม่มาก (50-70 ppm) หรือน้อยไป (8-15 ppm) การตรวจไอโอดีนในเกลือโดยวิธีวัดสีมีขั้นตอนน้อยสามารถถ่ายทอดให้คนได้ง่าย เหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้สอนภาคปฏิบัติการในโรงเรียนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมปลาย โดยเฉพาะในโรงเรียนที่มีเครื่องมือ spectrophotometer หรือแม้แต่เครื่องมือวัดสีอย่างง่าย ๆ เพราะจะให้ประโยชน์ทั้งด้านหลักการทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านสุขภาพ และด้านโภชนาการ และยังเป็นประโยชน์ต่อชุมชนและสังคม ขณะที่ค่าใช้จ่ายของปฏิบัติการนี้ต่ำมาก

ข4 วิธีไอ-รีดเดอร์ (I-Reader)

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่มีหลักการคล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ด้วยไอ-คิท โดยการทำปฏิกิริยาดังที่บรรยายไว้ในข้อ ง-1 เช่นกัน ซึ่งปริมาณไอโอดีนจะแปรผันตามความเข้มของสีน้ำเงินที่เกิดขึ้น แต่ปริมาณไอโอดีนที่ตรวจวัดด้วยเครื่องไอ-รีดเดอร์ใช้หลักการของสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ในการวัดความสามารถของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรซึ่งเครื่อง ไอ-รีดเดอร์จะคำนวนผลและ แสดงตัวเลขที่หมายถึงปริมาณไอโอดีนในเกลือ โดยมีหน่วยเป็นพีพีเอ็ม

ภาพที่ ข4 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้น้ำยาไอรีเอเจนต์

ข 4.1 อุปกรณ์

1. เครื่องไอ - รีดเดอร์ (I-reader)
   (ในการทดลองนี้ใช้เครื่องสเปกโตรโตรโฟโตมิเตอร์แทนการอ่านค่าด้วยไอ-รีดเดอร์)
2. ช้อนตักเกลือ
3. หลอดทดลอง
4. บีกเกอร์ 2 ใบ
5. ที่ใส่หลอดทดลอง
6. หลอดหยดที่วัดปริมาณได้ 1.5 มิลลิลิตร 2 อัน

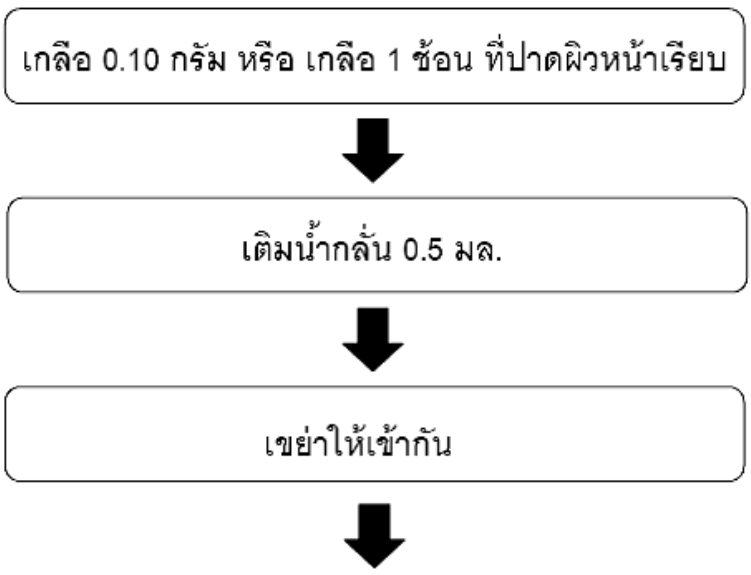
ข 4.2 สารเคมี

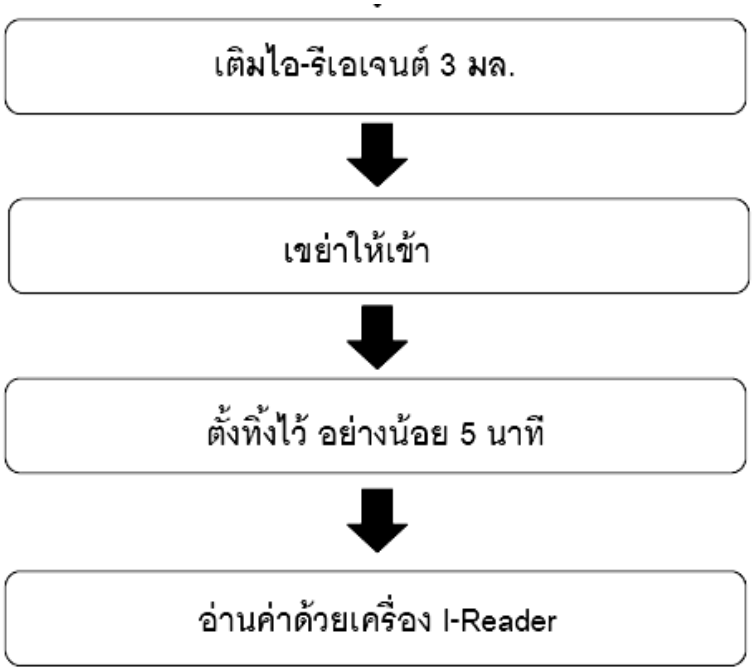
1. น้ำยาไอรีเอเจนต์ (I-Reagent)
2. น้ำกลั่น

ข 4.3 วิธีการ

1. ชั่งตัวอย่างเกลือ 10 กรัม ใส่ขวดรูปชมพู่
2. เติมน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตรแล้วเขย่าให้เกลือละลาย
3. ใส่ I-Reagent จำนวน 3 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
4. ทิ้งไว้อย่างน้อย 5 นาที
5. นำหลอดทดลองใส่ลงในเครื่อง I-Reader(ในการทดลองนี้ใช้เครื่องสเปกโตร โฟโตมิเตอร์)
6. อ่านและบันทึกปริมาณไอโอดีน เป็นพีพีเอ็ม

การวิเคราะห์ด้วยไอ-รีดเดอร์สามารถแสดงขั้นตอนตามลำดับได้ดังนี้





ข 4.4ข้อควรระวังของวิธีการวิเคราะห์ด้วยไอ-รีดเดอร์

4.4.1 การชั่งเกลือ

4.4.1.1 การตักเกลือ ควรตักให้พูนช้อนพลาสติก จากนั้นใช้สันมีดขนาดเล็กที่เรียบไม่บิ่น ขรุขระ หรือโค้งเว้า สับที่บริเวณผิวหน้าของเกลือ เพื่อลดช่องว่างและทำให้เกลือเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอแต่ไม่อัดแน่น ในช้อน แล้วจึงใช้สันมีดปาดเกลือส่วนเกินออกจากหน้าช้อน ให้ผิวหน้าเรียบวิธีนี้จะทำให้ได้เกลือที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกันมากที่สุดในการทดสอบ

4.4.1.2 ในการเทเกลือออกจากช้อนให้ใช้สันมีดเคาะก้นช้อนเบาๆ เพื่อให้เกลือหลุดออกมาจากช้อนทั้งหมด

4.4.1.3 ถ้าเกลือที่มีขนาดใหญ่ ต้องบดให้ละเอียดอย่างน้อย 50 กรัม ผสมให้เข้ากับจากนั้นจึงสุ่มตักเกลือ

หมายเหตุ ถ้าไม่มีสันมีด สามารถใช้วัสดุอื่นๆ ที่มีลักษณะเป็นแผ่นบางเรียบ ไม่บิ่น ขรุขระ หรือโค้งเว้า เช่น สันของแผ่นพลาสติก ไม้บรรทัด เป็นต้น

4.4.2 การดูดน้ำยา (รีเอเจนต์)

4.4.2.1 การใช้หลอดหยดพลาสติกอาจทำให้ได้ปริมาตรของสารที่ไม่แน่นอน เนื่องจากการควบคุมปริมาตรสารให้อยู่ในระดับสเกลที่กำหนดหรือต้องการนั้น ควบคุมได้ยาก และต้องกะจังหวะในการดูดและปล่อยสารให้แม่นยำ

4.4.2.2 การใช้แรงบีบเพื่อดูด-ปล่อยสารแรงเกินไป อาจเกิดฟองอากาศขึ้นได้ภายในหลอดหยด ทำให้ปริมาตรของสารละลายที่ได้ก็จะน้อยกว่าที่เป็นจริง

4.4.2.3 การอ่านปริมาตรของสารในหลอดหยด

สารละลายที่ใสไม่มีสี ต้องให้สายตาที่อ่านสเกลอยู่ในระดับเดียวกับส่วนที่เป็นท้องน้ำ

4.4.2.4 ระดับสายตาต้องอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับท้องน้ำ

- หากสายตาอยู่เหนือกว่าระดับท้องน้ำ ปริมาตรที่อ่านได้จะมีปริมาตรที่มากว่าที่เป็นจริง
- หากระดับสายตาอยู่ต่ำกว่า จะอ่านปริมาตรได้น้อยกว่าที่เป็นจริง
- หากท้องน้ำอยู่เหนือหรือต่ำกว่าสเกล ปริมาตรที่อ่านได้ก็จะไม่ใช่ปริมาตรที่แท้จริงเช่นกัน

4.4.2.5 การทดสอบอาจหาอุปกรณ์ชนิดอื่นมาใช้แทนหลอดหยด เช่น กระบอกฉีดยาขนาด 3-5 มิลลิลิตร เนื่องจากมีสเกลที่มองเห็นชัดเจน จึงอาจลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้หลอดหยด

4.4.3 การผสมเกลือและน้ำยา

4.4.3.1 ควรผสมเกลือและน้ำยาให้ละลายจนหมดก่อน หากเกลือยังละลายไม่หมดแล้วนำไปวัดค่าด้วยเครื่องไอรีเดอร์ เม็ดเกลือที่ยังไม่ละลายส่งผลต่อการหักเหและการดูดกลืนแสงได้

4.4.3.2 เมื่อเติมรีเอเจนต์แล้วควรเขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนด หรืออาจนานกว่าที่กำหนดก็ได้ เพื่อที่จะให้สารผสมเป็นเนื้อเดียวกันและสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์

4.4.4 น้ำยา I-Reagent

4.4.4.1 น้ำยามีอายุการใช้งาน 6-8 เดือนจึงควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและไม่ควรเก็บในตู้เย็น ควรเก็บน้ำยาในที่มืดและปิดฝาให้สนิท อย่าให้ถูกแสงแดดเพราะทำให้น้ำยาเสื่อมสภาพและอาจเกิดการระเหยของน้ำยา หากน้ำยาเสื่อมคุณภาพ สีของน้ำยาจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีม่วง

4.4.4.2 ไม่ควรดูดน้ำยาจากขวดโดยตรงเพราะอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ ควรแบ่งถ่ายใส่ภาชนะอื่นในปริมาณที่พอเหมาะที่จะใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง และควรเช็ดปากขวดให้สะอาดทุกครั้งหลังเทน้ำยาออกใช้ เพื่อเป็นการรักษาอายุและคุณภาพของน้ำยา

4.4.4.3 หากน้ำยาเหลือจากที่ใช้ในการทดสอบ ไม่ควรเทกลับใส่ขวดเดิม เพราะอาจทำให้น้ำยาทั้งหมดปนเปื้อนได้

4.4.5 หลอดแก้วที่ใช้ในการทดสอบ

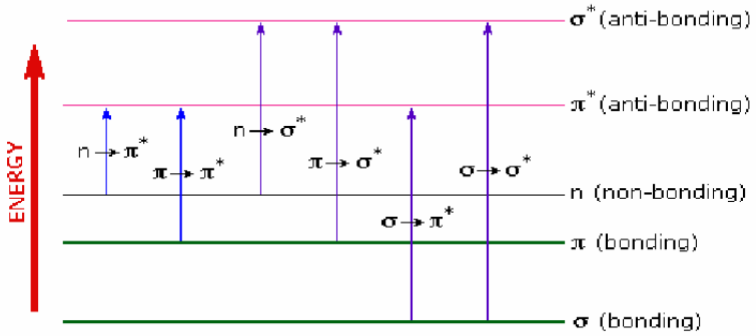
4.4.5.1 ควรมีลักษณะที่ใส สะอาด ไม่มีรอยขีดข่วนบริเวณกลางหลอดไปจนถึงก้นหลอด และควรมีขนาดที่พอดีกับช่องที่ใส่ ไม่หลวมหรือแน่นจนเกินไป เพราะมีผลต่อการดูดกลืนแสง (อ่านค่า) และเสี่ยงต่อการแตกของหลอดได้

4.4.5.2 ควรเช็ดทำความสะอาดภายนอกของหลอด ด้วยกระดาษทิชชูแห้ง เพื่อเป็นการขจัดคราบเปรอะเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเตรียม เพราะจะมีผลต่อการดูดกลืนแสง อาจทำให้ค่าคลาดเคลื่อนได้

4.4.6 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ภาพที่ ข5เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer จะอาศัยหลักการพื้นฐานคือเมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible อิเลคตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลจะถูกกระตุ้นให้มีระดับพลังงานที่สูงขึ้น

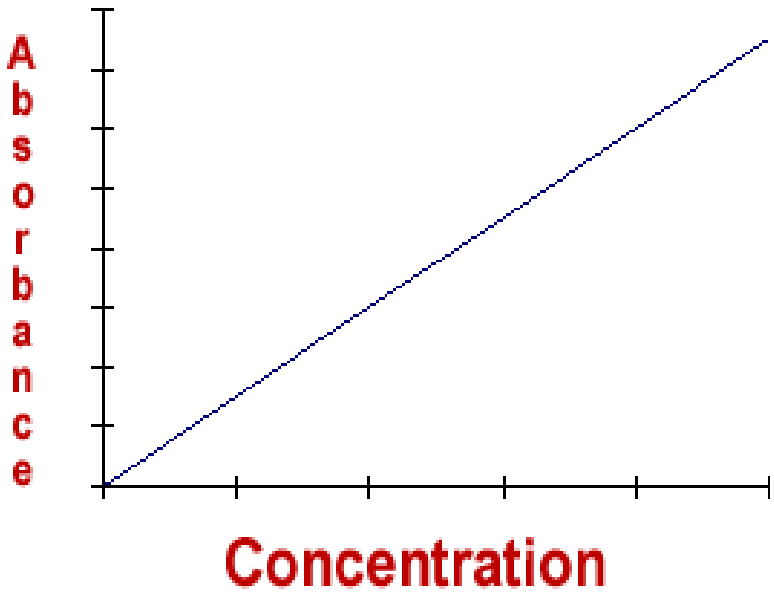


ภาพที่ข6ระดับพลังงานเมื่ออิเลคตรอนที่อยู่ภายในโมเลกุลถูกกระตุ้นเมื่อได้รับพลังงานคลื่นแสงในช่วง UV-Visible

ตารางที่ข2 ความสัมพันธ์ของสีและการดูดกลืนแสง

Wavelength of absorbance maximum (nm)	**Color Absorbed**	**Color Remaining**
380-420	Violet	Green-yellow
420-440	Violet-blue	Yellow
440-470	Blue	Orange
470-500	Blue-green	Red
500-520	Green	Purple
520-550	Yellow-green	Violet
550-580	Yellow	Violet-blue
580-620	Orange	Blue
620-680	Red	Blue-green
680-780	Purple	Green

การวิเคราะห์โดยใช้ UV-Visible spectrophotometer สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางด้านคุณภาพและปริมาณ โดยความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสามารถใช้ในการ ระบุชนิดของสาร ในขณะที่ปริมาณการดูดกลืนแสงจะใช้ในการบอกปริมาณของสารที่นำมาวิเคราะห์การหาปริมาณของสารจะอาศัย Beer's law ในการหาปริมาณของสารจะ พล๊อตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์และค่าการดูดกลืนแสงดังแสดงในภาพที่ 10โดยพล๊อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (แกน y) และความยาวคลื่น (แกน x)



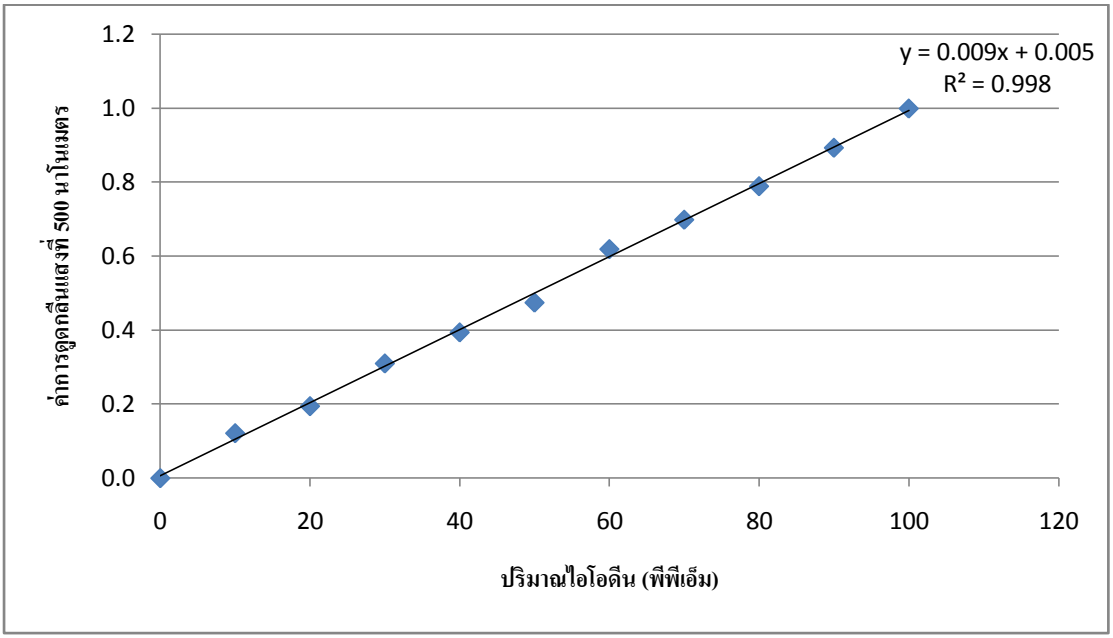
ภาพที่ข 7การทำ calibration curve เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของสาร

ภาคผนวก ค

กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

ภาคผนวก ค

กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน



ภาพที่ค 1กราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ 500 นาโนเมตร (แกน y) และปริมาณไอโอดีน (แกน x)

ภาคผนวก ง

ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งและเวลาต่าง ๆในการผสม ที่อุณหภูมิ 50และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์

ภาคผนวก ง

ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งและเวลาต่างๆในการผสม ที่อุณหภูมิ 50และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์

อุณภูมิ ในการผสม	*เวลาใน การผสม*	*ซ้ำ*	*ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำหน่งทั้ง 5 ตำแหน่ง ของถังผสม (พีพีเอ็ม)*					*เฉลี่ย (พีพีเอ็ม)*	*ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน*	*ร้อยละ สัมประสิทธิ์ ความผันแปร*
(°C)	(นาที)		1	2	3	4	5			
50	4	1	45.6	37.2	35.0	36.7	36.7	38.240	4.20	10.9780
		2	36.4	37.7	39.0	38.0	44.5	39.120	3.15	8.0459
	8	1	37.8	37.4	37.0	38.3	38.6	37.820	0.65	1.7177
		2	36.4	36.0	36.4	36.6	36.5	36.380	0.23	0.6268
	12	1	37.0	36.3	36.1	35.7	35.3	36.080	0.64	1.7790
		2	34.3	36.3	39.6	37.2	36.9	36.860	1.90	5.1639
	16	1	39.6	36.2	40.0	35.7	35.7	37.440	2.17	5.7923
		2	35.4	39.7	35.0	37.0	35.5	36.520	1.93	5.2934
60	4	1	35.5	37.7	36.8	37.8	36.9	36.940	0.92	2.5002
		2	34.2	38.6	36.2	36.0	37.5	36.500	1.66	4.5516
	8	1	42.7	39.5	35.0	39.4	40.7	39.460	2.83	7.1602
		2	37.6	37.9	37.9	36.0	34.0	36.680	1.69	4.6162
	12	1	39.3	41.1	43.1	40.4	40.7	40.920	1.39	3.3968
		2	45.0	44.5	42.6	40.4	41.7	42.840	1.92	4.4797
	16	1	40.6	39.4	39.9	39.2	39.5	39.720	0.55	1.3950
		2	42.6	42.3	45.7	40.0	38.7	41.860	2.69	6.4248

ตารางที่1ปริมาณไอโอดีนในเกลือที่ตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งและเวลาต่างๆในการผสม ที่อุณหภูมิ 50และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ตซ์

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน นางสาวณัชนลิน เจริญจิตร์

ที่อยู่ 59 ซอยแฮปปี้เพลซ 13 แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ
โทร. 086-588-9510

วันเดือนปีเกิด 6 ธันวาคม พ.ศ. 2526

การศึกษา - สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาเทคโนโลยีการหมัก คณะอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2550

- ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) ณ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาสุขาภิบาลอาหาร ในปีการศึกษา พ.ศ. 2556

ประวัติการทำงาน ปี พ.ศ. 255 0 ตำแหน่งQuality Assurance ที่โรงงานผลิตไส้กรอกแฮม บริษัทฟู้ดแลนด์ ซุปเปอร์เซ็นเตอร์

ปี พ.ศ. 255 1 ตำแหน่งProduction Technology ที่โรงงานผลิตหมากฝรั่ง บริษัทไทยล็อตเต้ จำกัด

ปี พ.ศ. 255 3 ตำแหน่งQuality Assurance Executive โรงงานผลิตนม บริษัทเอฟแอนด์เอ็นแดรี่ส์ (ประเทศไทย) จำกัด

ปี พ.ศ. 2556 ตำแหน่งQuality Assurance Supervisor โรงงานผลิตนม บริษัทฟรีสแลนด์คัมพิน่า (ประเทศไทย) จำกัด

ผลงานวิจัย ณัชนลิน เจริญจิตร์ ประมวล ศรีกาหลง และวริ พัสย์อารีกุล .2556. การศึกษาการกระจายตัวในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนของเครื่องผสมต้นแบบแบบ ริบบอนคู่ด้วยการหยด . การประชุมวิชาการ อุตสาหกรรมเกษตร. สจล.ครั้งที่ 2 วันที่ 30 สิงหาคม 2556